

Fachbereich 07: Mathematik, Physik und Geographie

**Potenzielle Bodenerosion und Landnutzungsänderung
als mögliche Folge des Dreischluchtenprojektes,
am Beispiel Xiangxi, VR China**

(Potential Soil Erosion and Land Use Changes
as a possible consequence of the Three Gorges Project,
Xiangxi Catchment, P.R. China)

Diplomarbeit

eingereicht von

Jens Deppe

Betreuer: Prof. Dr. Lorenz King
Prof. Dr. Thomas Scholten

Gießen, Februar 2005

Vorwort

Etwa Anfang 2000 wurde ein interdisziplinäres Projekt zur Untersuchung einer nachhaltigen Landnutzung im Gebiet des Drei-Schluchten-Staudamms am Yangtze, VR China, von chinesischen und deutschen Wissenschaftlern ins Leben gerufen. Durch meine Mitarbeit in dem Projekt erhielt ich die Möglichkeit zu einer Forschungsreise nach China mit Aufenthalt im Projektgebiet. Im Untersuchungsgebiet konnte man erhebliche Bodenerosionsschäden sehen, die meistens durch unsachgemäße Landnutzung entstanden. Den Anstoß zu der vorliegenden Arbeit gab während des Feldaufenthaltes Prof. Dr. Peter Felix-Henningsen (Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung). Die Idee war, die im Rückstaugebiet des Drei-Schluchten-Staudamms eventuell entstehende Bodenerosionsgefährdung mit Hilfe der ABAG (Allgemeine Bodenabtragsgleichung) abzuschätzen.

Den folgenden Personen möchte ich meinen ganz besonderen Dank zum Ausdruck bringen. Ohne ihre Hilfe wäre mir die Erstellung der Arbeit nicht möglich gewesen:

- Prof. Dr. Lorenz King (Institut für Geographie) machte mich auf das Projekt aufmerksam und bot mir an daran mitzuarbeiten. Durch seine Betreuung und unter seiner Anleitung wurde aus einem ersten Konzept die jetzt vorliegende Arbeit, und durch seine Kontakte wurde es mir erst möglich, die benötigten Daten zu beschaffen. Darüber hinaus waren es zu Beginn meines Geographiestudiums insbesondere seine Vorlesungen, die mein Interesse an der Physischen Geographie weckten.
- Prof. Dr. Thomas Scholten (ehemals Institut für Bodenkunde in Giessen, jetzt Institut für Geographie in Jena) half mir, aus der Grundidee das jetzige Thema der Arbeit zu formulieren und stand mir während der Entstehung dieser Arbeit helfend zur Seite. Durch seine Lehrveranstaltungen und die Seminare und Vorlesungen von Prof. Felix-Henningsen wurde die Bodenkunde zu einem meiner Interessensschwerpunkte.
- Dr. Konrad Mollenhauer (Institut für Landschaftsökologie und Ressourcenmanagement), der mir immer wieder wertvolle Tipps und half mir dadurch, verschiedene technisch-konzeptionelle Probleme bei der Modellierung zu lösen.
- Bernd Unger und meiner Freundin Britta Hennig, die vor allem in der Endphase der Erstellung dieser Arbeit unterstützen und geduldige Korrekturleser waren, mitunter sorgten sie auch für den nötigen Ansporn.
- Den chinesischen Projektpartnern, vor allem Prof. Dr. Jiang Tong, Prof. Dr. Cai Qinghua und Prof. Dr. Li Zhongpei, die meine Anfragen nach Daten und Übersetzungen sehr hilfsbereit immer wieder schnell beantworteten.
- Nicht zuletzt gilt mein ganz besonderer Dank meinen Eltern: ohne ihre Unterstützung wäre ich nie soweit gekommen!

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	II
I Kartenverzeichnis.....	V
II Tabellenverzeichnis	V
III Abbildungsverzeichnis	VII
IV Bildverzeichnis	VII
 1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2 Auswahl des Arbeitsgebietes	3
1.3 Untersuchungsansatz, Aufbau und Gliederung der Arbeit.....	4
 2 Der Drei-Schluchten-Staudamm	7
2.1 Beschreibung des Staudammprojektes	7
 3 Das Xiangxi-Einzugsgebiet.....	15
3.1 Der Naturraum	15
3.1.1 Geographische Lage und administrative Gliederung.....	15
3.1.2 Geologie und Relief	18
3.1.3 Klima	26
3.1.4 Böden	34
3.1.5 Vegetation.....	45
3.2 Bevölkerung und Landnutzung	46
3.2.1 Bevölkerung.....	46
3.2.2 Landnutzung	48
 4 Auswirkungen des Drei-Schluchten-Staudamms auf das Arbeitsgebiet	52
4.1 Umsiedlungsmaßnahmen, Kosten und Probleme.....	52
4.1.1 Auswirkungen, Umsiedlungsmaßnahmen und Kosten	52
4.1.2 Probleme	54
4.2 Qualität und Quantität des Flächenverlustes	55
 5 Relief-, Klima- und Bodendaten und Methodik ihrer Aufarbeitung und Verwendung	62
5.1 Darstellung und Aufarbeitung der vorhandenen Rohdaten.....	62
5.1.1 Topographische Karten.....	62
5.1.2 Digitales Höhenmodell	63
5.1.3 Klimadaten	64
5.1.4 Geologie	64
5.1.5 Bodendaten	65
5.1.6 Landnutzung	66
5.2 „USLE“: Detaillierte Beschreibung der USLE, der enthaltenen Faktoren und deren Aufarbeitung	66
5.2.1 Formel und Prinzip.....	66
5.2.2 R-Faktor	68
5.2.3 K-Faktor	72
5.2.4 LS-Faktor	76
5.2.5 C-Faktor	79
5.2.6 P-Faktor	83

5.3	Methodik der Untersuchung potenzieller Ausweichflächen.....	86
5.4	Kritische Betrachtung der Methodik und der Anwendung der USLE	89
	Allgemeines.....	89
	K-Faktor	90
	R-Faktor	90
6	Vorhandene Bodenressourcen und Erosionsgefährdung.....	92
6.1	Potenzielle Ausweichflächen.....	92
6.2	Klassifikation des Bodenverlustes und Ergebnis der ABAG	93
7	Diskussion und Schlussfolgerung	106
7.1	Ziele	106
7.2	Bewertung der Methodik	107
7.3	Bewertung der Ergebnisse.....	108
7.4	Übertragbarkeit auf andere Gebiete im Stauseegebiet.....	109
8	Zusammenfassung.....	112
9	Summary	116
10	Literaturverzeichnis	120
11	Internetverzeichnis.....	124

I Kartenverzeichnis

Karte 2.1:	Ausdehnung des Stausees	8
Detailkarte 2.2:	Übersicht der Anlagen des Drei-Schluchten-Staudamms	9
Karte 3.1:	Die Lage des Projektgebietes in China	15
Karte 3.2:	Das Xiangxi-Einzugsgebiet	16
Karte 3.3:	Übersicht über die wichtigsten morphologischen Einheiten	19
Karte 3.4:	Verteilung der Hangneigungsklassen im Arbeitsgebiet	25
Karte 3.5:	Lage der Niederschlagsmessstationen	28
Karte 3.6:	Bodenuntergruppen des Projektgebietes, englische Übersetzung der Namen aus chinesischer Nomenklatur	35
Karte 3.7:	Bodentypen des Xiangxi-Einzugsgebietes nach FAO-Nomenklatur	40
Karte 3.8:	Bodenkarte des Arbeitsgebietes	42
Karte 3.9:	Verteilung der Bodentypen im 3-D Geländemodell	44
Karte 4.1a:	Arbeitsgebiet vor Überschwemmung	57
Karte 4.1b:	Arbeitsgebiet nach Überschwemmung	57
Karte 4.2:	Unterschiedliche Verläufe des Xiangxi im Arbeitsgebiet	58
Karte 4.3:	Auswirkung des Rückstaus auf die Bodentypen des Arbeitsgebietes nach Verlegung des Xiangxi	59
Karte 4.4:	Auswirkung des Rückstaus auf die Hangneigungsklassen	61
Karte 5.1:	R-Werte für das Arbeitsgebiet	72
Karte 5.2:	K-Werte der Böden des Arbeitsgebietes	75
Karte 5.3:	LS-Werte für das Arbeitsgebiet	79
Karte 5.4:	Flächen mit einer Hangneigung $\leq 12^\circ$ im Projektgebiet (ohne Shennongjia)	87
Karte 5.5:	Landwirtschaftlich nutzbare Böden im Projektgebiet (ohne Shennongjia)	88
Karte 6.1:	Potenzielle Ausweichflächen im Projektgebiet (ohne Shennongjia)	92
Karte 6.2:	Bodenerosion im Arbeitsgebiet, $P = 1$	95
Karte 6.3:	Bodenerosion im Arbeitsgebiet, $P = 0,9$	96
Karte 6.4:	Verringerung der Erosionsrate durch Rotationswechsel	101
Karte 6.5:	Differenzierte Unterteilung der Erosionsrate 5 t bis 30 t	103

II Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Übersicht über die Eigenschaften der Komponenten des Drei-Schluchten- Staudamms	10
Tabelle 2.2:	Kenndaten der Ausmaße des entstehenden Stausees („Drei-Schluchten- Stausee“) mit Vergleich zum Bodensee	11
Tabelle 3.1:	Geographische Eckpunkte des Xiangxi-Einzugsgebietes (= „Projektgebiet“)	17
Tabelle 3.2:	Geographische Eckpunkte des „Arbeitsgebietes“	18
Tabelle 3.3:	Art des Gesteins, prozentualer Flächenanteil und Verteilung auf Höhenbereiche für den Kreis Zigui	20

Tabelle 3.4:	Prozentuale Verteilung der Fläche von Xingshan in Bezug auf verschiedene Hangneigungen	23
Tabelle 3.5:	Prozentuale Verteilung der Fläche von Shennongjia in Bezug auf verschiedene Hangneigungen	23
Tabelle 3.6:	Prozentuale Verteilung der Fläche des Arbeitsgebietes in Bezug auf die Hangneigungsklassen von Xingshan	24
Tabelle 3.7:	Prozentuale Verteilung der Fläche des Arbeitsgebietes in Bezug auf Hangneigungsklassen aus Sicht des Bodenschutzes	24
Tabelle 3.8:	Niederschlagsmessstationen im Projektgebiet	27
Tabelle 3.9:	Zeitpunkt von Aussaat und Ernte für vier ausgewählte landw. Anbauprodukte im Xiangxi-Einzugsgebiet	33
Tabelle 3.10:	Flächenanteile der Bodentypen auf der zweiten Ebene des Projektgebietes nach FAO-Nomenklatur	36
Tabelle 3.11:	Flächeninhalt der Bodentypen des Arbeitsgebietes nach FAO-Nomenklatur	41
Tabelle 3.12:	Einschätzung der Erosionsgefährdung der wichtigsten Böden im Projekt- und Arbeitsgebiet	43
Tabelle 3.13:	Entwicklung der Einwohneranzahl im vergangenen Jahrzehnt mit 1949 für Xingshan und Zigui	46
Tabelle 3.14:	Absolute und prozentuale Aufteilung der Bevölkerung Xingshans in Agrar- und Nichtagrarbevölkerung	47
Tabelle 3.15:	Absolute und prozentuale Aufteilung der Bevölkerung Ziguis in Agrar- und Nichtagrarbevölkerung	47
Tabelle 3.16:	Flächenverteilung auf verschiedene Kategorien der Kreise Xingshan und Zigui in Prozent der jeweiligen gesamten Kreisfläche	48
Tabelle 3.17:	Durchschnittlicher Zeitraum der Aussaat und Ernte ausgewählter Kulturpflanzen im Xiangxi-Einzugsgebiet.....	51
Tabelle 4.1:	Auswirkungen des Drei-Schluchten-Staudamms auf den Stauseebereich	53
Tabelle 4.2:	Umzusiedelnde Bevölkerung der Kreise Xingshan und Zigui	54
Tabelle 4.3:	Verlust von landwirtschaftlichen Nutzflächen der Kreise Xingshan und Zigui	54
Tabelle 4.4:	Neuberechneter Flächeninhalt der Bodentypen und durch Rückstau bedingter Flächenverlust	59f
Tabelle 4.5:	Prozentuale und absolute Flächenanteile verschiedener Hangneigungsklassen vor und nach Rückstau	61f
Tabelle 5.1:	Eckpunkte der topographischen Karten:	62
Tabelle 5.2:	Jährliche R-Werte der acht Niederschlagsmessstationen	70
Tabelle 5.3:	K-Werte für die Böden des Arbeitsgebietes und wichtigste Böden des Projektgebietes	74
Tabelle 5.4:	L-Werte für verschieden Hanglängen und Hangneigungen	76
Tabelle 5.5:	Hanglängenexponent für ausgewählte Hangneigungen	77
Tabelle 5.6:	LS-Werte für ausgewählte Hangneigungen eines 50 m langen Feldes	78
Tabelle 5.7:	Kulturperioden der wichtigsten Nutzpflanzen des Arbeitsgebietes	80
Tabelle 5.8:	Absolute und prozentuale durchschnittliche monatliche R-Werte der Stationen Xia-kou und Xingshan	81
Tabelle 5.9:	Werte des C-Faktors für Kulturpflanzen im Arbeitsgebiet	82

Tabelle 5.10:	Landwirtschaftlich leicht nutzbare Böden im Projektgebiet (ohne Shennongjia)	87
Tabelle 6.1:	Einteilung der Bodenverlustrate	94
Tabelle 6.2:	Bodenerosion der jeweiligen Rotationssysteme mit P-Wert = 1	97
Tabelle 6.3:	Bodenerosion der jeweiligen Rotationssysteme mit P-Wert = 0,9	97
Tabelle 6.4:	Höchstwerte der Bodenerosion	97
Tabelle 6.5:	Veränderung der Erosionsraten im Vergleich West- und Ostufer	102

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1	dreidimensionale Ansicht des Xiangxi-Einzugsgebietes	21
Abbildung 3.2:	dreidimensionale Ansicht des Arbeitsgebietes	25
Abbildung 3.3:	Niederschlagsmengen im Xiangxi-Einzugsgebiet 1971 – 1986 (ohne 1975)	29
Abbildung 3.4:	Niederschlagsvariabilität im Xiangxi-Einzugsgebiet (1971 – 1986 ohne 1975)	29
Abbildung 3.5:	Monatliche Verteilung der Niederschläge für das Jahr 1986 für die Messstationen Zheng Jiaping, Shuiguoyuan und Xia-kou	30
Abbildung 3.6:	Niederschlagsverteilung für den Monat Juni 1986	31
Abbildung 3.7:	Die monatliche Verteilung der Niederschläge für das Jahr 1979	32
Abbildung 3.8:	Niederschlagsverteilung für den Monat September 1979	32
Abbildung 5.1:	Ergebnis der Korrelationsanalyse für Höhenwerte z bis 500 m	71
Abbildung 5.2:	Ergebnis der Korrelationsanalyse für Höhenwerte z ab 500 m	71
Abbildung 5.3:	Aufsummierte prozentuale R-Werte der Stationen Xia-kou und Xingshan	82
Abbildung 6.1:	Ergebnis der ABAG-Berechnung	98
Abbildung 6.2:	3D-Ansicht der Erosionsraten für Kartoffel/Mais-Rotation mit P = 1	99
Abbildung 6.3:	3D-Ansicht der Erosionsraten für Weizen/Reis-Rotation mit P = 0,9	99
Abbildung 6.4:	3D-Ansicht des Arbeitsgebietes	100
Abbildung 6.5a:	Unterteilung der Erosionsklasse „5 t bis 30 t“	104
Abbildung 6.5b:	Prozentuale Verteilung der Erosionsklasse „5 t bis 30 t“	104

IV Bildverzeichnis

Bild 3.1:	Wasserkraftwerk am Xiangxi	22
Bild 3.2:	Landwirtschaft am Unterlauf des Xiangxi	50
Bild 5.1:	Landwirtschaftliche Nutzung von Hängen am Mittellauf des Xiangxi	84
Bild 5.2:	Vergrößerter Ausschnitt aus Bild 5.1	85

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Bereits in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts plante die chinesische Regierung den Bau eines Staudamms in der Region der Drei Schluchten. Seitdem gab es immer wieder neue Änderungen der Planung, insbesondere hinsichtlich der Größe des Staudamms. Erst im Jahr 1983 beschloss die chinesische Regierung dann definitiv den Bau des Drei-Schluchten-Staudamms, eines der größten und mit Sicherheit umstrittensten Staudammprojekte weltweit. Spätestens seit dem Baubeginn 1993 ist der Drei-Schluchten-Staudamm in der öffentlichen Diskussion. In den Medien erscheinen immer wieder Beiträge mit Titeln wie „Land unter am Yangtze“.¹ Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen diskutieren kritisch und kontrovers den Einfluss des Staudamms auf das Ökosystem und die Bevölkerung. Die Fertigstellung des Drei-Schluchten-Staudamms und die damit einsetzende Flutung des flussaufwärts gelegenen Yangtze-Flusslaufs wird die Region radikal verändern. Beträchtliche Teile der landwirtschaftlichen Nutzflächen innerhalb des Yangtze-Einzugsgebietes werden verloren gehen.

Der Xiangxi, mit dessen Einzugsgebiet sich diese Arbeit beschäftigt, ist ein Nebenfluss des Yangtze und mündet rund 40 km flussaufwärts des Staudamms in den Yangtze. Durch diese relative Nähe ist der Xiangxi unmittelbar vom Rückstau des Staudamms und dem folgenden Pegelanstieg des Yangtze betroffen. Der Pegel des Xiangxi wird im Unterlauf um rund 90 m ansteigen, was zu Überflutungen von Siedlungen und vor allem landwirtschaftlicher Nutzflächen führt.² Da sich der Großteil der landwirtschaftlichen Nutzflächen im Flusstal des Xiangxi befindet, werden die Bauern gezwungen sein nach entsprechenden Ausweichflächen zu suchen.

Betrachtet man die naturräumlichen und die sozio-ökonomischen Eigenschaften des Einzugsgebietes, werden die hierdurch entstehenden Gefährdungspotentiale deutlich. Aus unveröffentlichten Projektdaten ist ersichtlich, dass:

- knapp 90% der Gesamtfläche eine Hangneigung von 15° und mehr aufweisen,
- es große Niederschlagsmengen mit durchschnittlich mehr als 1000 mm pro Jahr gibt, und davon rund 80% in den Monaten Mai bis September fallen.

Beides bedingt eine erhebliche Erosionsgefährdung. Eine weitere Erhöhung der Erosionsgefährdung könnte dadurch entstehen, dass Waldgebiete abgeholzt und zu landwirtschaftlichen Nutzflächen umgewandelt werden. Bisher ist der Großteil des Einzugsgebietes noch mit Wald bedeckt. Darüber hinaus ist der größte Teil der

¹ aus: <http://www.3sat.de/nano/cstuecke/36248>; Stand: 21.08.2002

² Quelle: offizielle Projektinformationen, eigene Berechnung auf Grundlage eines digitalen Höhenmodells

Bevölkerung des Einzugsgebietes in der Landwirtschaft tätig bzw. die Haupteinnahmequelle ist die Landwirtschaft (siehe Kapitel 3.2).

Die vorliegende Arbeit untersucht zwei Aufgabenbereiche. Erster Aufgabenbereich ist eine Identifizierung der für die Landwirtschaft potenziell geeigneten Flächen. Hauptkriterium hierfür ist vor allem eine geeignete Hangneigung.

Die zweite Aufgabe der Arbeit geht von der Annahme aus, dass nicht genügend Ausweichflächen zur Verfügung stehen werden. Die Bauern, deren Ackerflächen vom Rückstau des Drei-Schluchten-Staudamms betroffen sind, werden dann beginnen, Flächen in Hanglage zu roden und landwirtschaftlich zu nutzen (BMZ 1995; LU et al. 2000).

Dabei stellt sich die Frage, ob dann eine ähnliche Entwicklung eintritt, wie im Einzugsgebiet des Xiaojiang, eines weiteren Nebenflusses des Yangtze in der Provinz Yunnan. Hier hat die Abholzung großer Waldflächen an Hängen mit Neigungen über 20% und die nachfolgende Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzflächen zu katastrophaler Bodenerosion geführt. Durch die Erosion werden dort jährlich rund 6 Millionen Tonnen Sedimente in den Yangtze gespült.³ Im Einzugsgebiet des Xiaojiang herrschen ähnliche Voraussetzungen wie im Xiangxi-Einzugsgebiet: das Xiaojiang-Einzugsgebiet ist ungefähr gleich groß, besitzt ein ähnlich steiles Relief und eine ebenso ausgeprägte Regenzeit. Der Unterschied zum Xiangxi-Einzugsgebiet besteht lediglich darin, dass das Xiaojiang-Einzugsgebiet keinen Einfluss eines Staudamms erfahren hat. Hier hat stattdessen unangepasste Landnutzung zur Abholzung und nachfolgender Bodenerosion geführt (vgl. SCHOLTEN et al. 2002).

Durch die unmittelbare Nähe zum Staudamm ergibt sich beim Xiangxi bei einer ähnlichen Entwicklung zusätzlich das Problem der Zusedimentierung des Stausees im Bereich der Staumauer (vgl. MENG et al. 2001).

Aus den oben angeführten Problembereichen ergeben sich insgesamt folgende inhaltliche Ziele für diese Arbeit:

- 1) Darstellung der landwirtschaftlichen Nutzung am Unterlauf des Xiangxi im Jahr 2003;
- 2) Analyse der Auswirkungen der Flutung im Xiangxi-Einzugsgebiet auf die Landwirtschaft und Ermittlung der verloren gehenden Nutzflächen
- 3) Identifizierung und Analyse potenzieller Ausweichflächen im Xiangxi-Einzugsgebiet;
- 4) Ermittlung der Erosionsgefährdung der Hänge, die direkt an die überschwemmten Flächen angrenzen.

³ aus nicht veröffentlichten Projektinformationen; Quelle: M. Metzler, ZEU Giessen

Neben den inhaltlichen Ziele befasst sich die vorliegende Arbeit mit einem methodischen Ziel. Inwieweit kann die ABAG auf Gebiete (erfolgreich) angewendet werden, die andere physiogeographische Eigenschaften aufweisen als das ursprüngliche Gebiet, für das die ABAG entwickelt und in dem sie vorweg durch empirische Untersuchungen hergeleitet wurde. Ziel hierbei ist die Evaluation von Problemen und Schwierigkeiten die dabei auftreten.

1.2 Auswahl des Arbeitsgebietes

Vor einigen Jahren wurde ein interdisziplinäres, deutsch-chinesisches Forschungsprojekt für das Xiangxi-Einzugsgebiet ins Leben gerufen. Initiatoren dieses Projektes waren Prof. Dr. Jiang Tong und Prof. Dr. Lorenz King. Ziel dieses Projektes ist eine Strategie zur nachhaltigen Landnutzung zu entwickeln im Hinblick auf die durch den Drei-Schluchten-Staudamm zu erwartenden Landnutzungsänderung. Nach verschiedenen Namensänderungen erhielt das Projekt im April 2002 den bis heute gültigen Titel „Nachhaltige Lebensqualitätssicherung im Rahmen großer Staudammprojekte – Entwicklung von Strategien zur optimalen Raumnutzung am Beispiel Xiangxi, Dreischluchtengebiet am Yangtze, VR China“. In diesem interdisziplinär angelegten Projekt untersuchen vier Arbeitsgruppen jeweils unterschiedliche Aspekte. Die Arbeitsgruppen decken die vier Untersuchungsschwerpunkte „Physische Geographie“ (Prof. Dr. Lorenz King), „Sozio-Ökonomie“ (Prof. Dr. Thomas Heberer), „Hydrologie“ (Prof. Dr. Hans-Georg Frede) und „Bodenkunde“ (Prof. Dr. Peter Felix-Henningsen und Prof. D. Thomas Scholten) ab.⁴

Die hier vorliegende Erosionsgefährdungsstudie ist nur eine von zahlreichen Studien der Arbeitsgruppen „Physische Geographie“ und „Bodenkunde“. Weitere Aspekte des Dreischluchtenprojektes wurden von anderen Mitarbeitern der beiden Arbeitsgruppen untersucht. Als weitere Veröffentlichungen der Arbeitsgruppe „Physische Geographie“ (Prof. King) sind hier insbesondere zu erwähnen die Arbeiten von: GEMMER et al. 2004, HARTMANN 2003, KEIL 2003, KING et al. 2004, METZLER et al. 2001, WANG et al. 2001.

In der nachfolgenden Arbeit wird zwischen Arbeitsgebiet und Projektgebiet unterschieden. Einerseits befasst sich die Arbeit mit dem gesamten Projektgebiet des o.a. Projektes. Andererseits ist das eigentliche Kerngebiet der Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit auf ein kleines Gebiet beschränkt, das lediglich einen Teil des Projektgebietes umfasst. Dieser Teilbereich des Projektgebietes wird im Folgenden als Arbeitsgebiet bezeichnet.

⁴ Näheres zum Projekt siehe: <http://www.uni-giessen.de/zeu/Sektion1.html#China>, Stand Juli 2003

Das Projektgebiet insgesamt umfasst das gesamte Xiangxi-Einzugsgebiet, das aus Teilen der drei Landkreise Shennongjia, Xingshan und Zigui besteht. Ein sehr kleiner Teil des Einzugsgebietes liegt in den östlich angrenzenden Kreisen Yichang und Baokang. Die Darstellung und Untersuchung der drei ersten (in Kap. 1.1 genannten) Ziele erfolgt für das Projektgebiet.

Das Arbeitsgebiet umfasst den Teil des Unterlaufs des Xiangxi einschließlich der daran angrenzenden Berghänge, die vom Rückstau des Drei-Schluchten-Staudamm betroffen sind. Die eigenen, detaillierten Untersuchungen über die Bodenerosionspotenziale werden nur für dieses Arbeitsgebiet durchgeführt.

1.3 Untersuchungsansatz, Aufbau und Gliederung der Arbeit

Methodische Grundlage für die Analyse der Bodenerosionspotenziale ist eine modifizierte Form der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG, engl. USLE), die „Universal Soil Loss Equation“ (USLE).⁵

Die USLE berücksichtigt insgesamt fünf Faktoren.⁶ Die Qualität der Daten für diese Faktoren ist für das Arbeitsgebiet recht unterschiedlich. Im Folgenden eine kurze Vorstellung der Faktoren und der Herkunft der hierfür jeweils verwendeten Daten:

- R-Faktor: Der sogenannte „Rainfall-Faktor“ (Regen- oder Niederschlagsfaktor), quantifiziert die Erosivität der Niederschläge. Ermittelt wird er durch die Jahresniederschlagshöhe und die Regenintensität für ein bestimmtes Gebiet. Für das Xiangxi-Einzugsgebiet stehen acht Niederschlagsmessstationen mit Tageswerten für den Zeitraum von 1970 – 1986 zur Verfügung. Für das Jahr 1975 liegen keine Werte vor. Da in der USLE der R-Faktor eigentlich anhand von 30-Minuten-Intervallen berechnet wird, für diese Arbeit aber nur Tageswerte vorhanden sind, erfolgt die Berechnung des R-Faktors mit Hilfe des modifizierten FOURNIER-INDEX.
- K-Faktor: der sogenannte „Soil Erodibility“-Faktor (Bodenerodibilitätsfaktor). Die Datengrundlage hierfür bilden Bodenkarten der drei Landkreise Shennongjia, Xingshan, Zigui. Die Maßstäbe variieren dabei von 1 : 160.000 (Xingshan) bis 1 : 200.000 (Shennongjia).
- LS-Faktor: der sogenannte Topographie-Faktor. Er setzt sich aus der Hanglänge (L) und der Hangneigung (S) zusammen. Grundlage für die Ermittlung ist ein digitales Höhenmodell mit einer Auflösung von bis zu 20 m, das für das Xiangxi-Einzugsgebiet vorhanden ist. Das Höhenmodell wurde aus digitalisierten Höhenlinien von topographischen Karten im Maßstab 1 : 100.000

⁵ siehe: <http://www.sedlab.olemiss.edu/USLE/>, Stand Juni 2003

⁶ bzw. 6 Faktoren, wenn man Hanglänge und Hangneigung als separate Faktoren zählt

berechnet.

- C-Faktor: der sogenannte „Crop-Faktor“ (Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor) ist ein Maß für die Bodenbedeckung durch natürliche Vegetation oder durch Anbaupflügel. Da es noch keine konkreten Pläne für die zukünftige Landnutzung auf den zu lokalisierenden Ausgleichsflächen gibt, wird für diesen Faktor mit Annahmen gearbeitet, die die wahrscheinliche Landnutzung simulieren. Diese Annahmen orientieren sich an der derzeit aktuellen Landnutzung.
- P-Faktor: der sogenannte „Practise-Faktor“ (Erosionsschutzfaktor) modelliert den Einfluss verschiedener Anbautechniken, z. B. Konturpflügen, auf die Erosionsgefährdung. Auch hierfür gibt es bisher keine konkreten Planungen, so dass auch hier mit Annahmen gearbeitet werden muss, die auf eigenen Beobachtungen während eines Feldaufenthaltes im April 2001 beruhen.

Sind für alle fünf Faktoren konkrete Daten verfügbar, lassen sich mit Hilfe der USLE langfristige, mittlere jährliche Bodenabtragswerte in t/ha berechnen. Wie aus der o.a. Erläuterung der Faktoren zu entnehmen ist, werden zwei dieser Faktoren mit hypothetischen Werten besetzt. Für die Ergebnisse bedeutet dies, dass zwar qualitative Bodenabtragswerte berechnet werden, aber im Hinblick auf die Verwendung der hypothetischen Werte auf die Ergebnisdarstellung mit absoluten Bodenabtragswerten verzichtet wird. Stattdessen erfolgt diese Darstellung anhand von Karten, die die Bodenerosionspotentiale am Unterlauf des Xiangxi zeigen. Dabei kommt es zu einer Klassenbildung der Potentiale, von schwach gefährdet bis extrem gefährdet.

Für die Identifizierung möglicher Ausweichflächen wird das oben erwähnte digitale Höhenmodell verwendet, mit dessen Hilfe großflächige, zusammenhängende Gebiete mit einer für die landwirtschaftliche Nutzung geeigneten Hangneigung ermittelt werden. In einem zweiten Schritt werden diese Flächen anhand von Bodendaten untersucht, in wie weit sie als Standort für landwirtschaftliche Produkte genutzt werden können. Dabei geht die Untersuchung von den Anbauprodukten aus, die auf den Flächen angebaut wurden, die durch die Flutung verloren gehen. Das Ergebnis dieser Analyse wird anhand einer Karte präsentiert. Diese Karte zeigt Flächen, die eine aus Sicht des Bodenschutzes akzeptable Hangneigung aufweisen und deren Standorteigenschaften eine landwirtschaftliche Nutzung ermöglichen. In der anschließenden Diskussion wird geklärt, ob diese Flächen eine ausreichende räumliche Ausdehnung aufweisen. Zweites Kriterium ist, dass diese Flächen so erreichbar sind, dass für die Bauern möglichst kein größerer logistischer Aufwand als vorher entsteht.

Der Untersuchungsansatz für die beiden ersten Ziele (landwirtschaftliche Nutzung und Auswirkung der Flutung) basiert auf einer GIS-gestützten Analyse verschiedener

vorhandener Daten (Landnutzungskarten, Bodendaten, etc.). Diese Ergebnisse zeigen u.a. wie viel Fläche (in km²) verloren geht.

Aufbau und Gliederung der vorliegenden Arbeit ergeben sich aus den in Kap. 1.1 skizzierten Problemstellungen.

- Im Anschluss an dieses einleitende Kapitel gibt Kap. 2 einen Abriss des Drei-Schluchten-Staudammprojekts und beschreibt seine Auswirkung auf das Arbeitsgebiet und die landwirtschaftlichen Nutzflächen.
- Kap. 3 präsentiert zunächst einen Überblick über das Projektgebiet im Hinblick auf Naturraum, Bevölkerung und Landnutzung.
- Kap. 4 beschreibt die Auswirkungen des Drei-Schluchten-Staudamms auf das Arbeitsgebiet hinsichtlich der betroffenen Bevölkerung und Flächen.
- Kap. 5 gibt einen detaillierten Überblick über die USLE, die verwendeten Daten und ihre schrittweise Aufarbeitung für die USLE sowie die Methodik hinsichtlich der Untersuchung des Projektgebietes auf potentielle Ausweichflächen. Abgeschlossen wird das Kapitel mit einer kritischen Betrachtung der angewandten Methodik, speziell der USLE.
- Kap. 6 identifiziert und analysiert die potenziellen Ausweichflächen im Projektgebiet und fasst die wesentlichen Ergebnisse der flächenhaften Umsetzung der USLE für das Arbeitsgebiet zusammen.
- Kap. 7 diskutiert die vorliegende Arbeit und die aus der Arbeit abzuleitenden Schlussfolgerungen.
- Zum Abschluss wird in Kap. 8 eine Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit gegeben.

2 Der Drei-Schluchten-Staudamm

Thema dieses Kapitels ist der Drei-Schluchten-Staudamm. Der erste Teil beschreibt zum einen die Idee und die Entwicklungsgeschichte des Projektes und zum anderen die technischen und baulichen Aspekte.

2.1 Beschreibung des Staudammprojektes

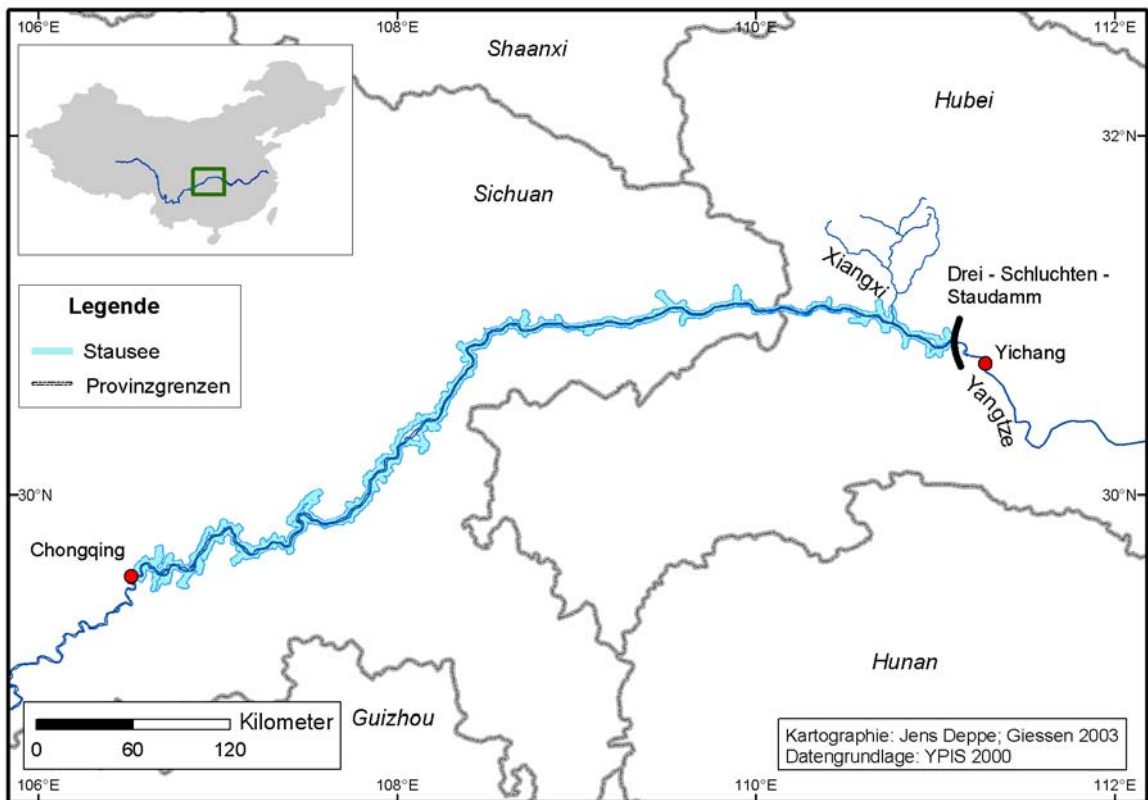
Die Idee, einen Staudamm wie den Drei-Schluchten-Staudamm am Yangtze zu bauen, entstand bereits in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts. Erste Überlegungen gingen in Richtung eines Damms mit kleiner Stauhöhe. In den 40er Jahren änderte sich die Planung, nun sollte die Höhe des Staudamms rund 200 m betragen. Durch die Kriegswirren der 40er Jahre und die anschließende Kulturrevolution kam es aber wieder zu Verzögerungen in der Planung. Ende der 70er wurde die Idee erneut aufgegriffen und Planungen sahen nun einen Damm mit einer Stauhöhe von rund 150 m vor. Für eine reibungslose Durchführung aller Projektpläne wurde vom chinesischen Staatsrat eine eigenständige und mit weitreichenden Kompetenzen versehene Kommission gegründet, die sogenannte „Staatsratskommission zur Konstruktion des Drei-Schluchten-Projektes“ (State Council Three Gorges Project Construction Commission, TGPPC). Vorsitzender dieser Kommission ist der jeweilige Premierminister der Volksrepublik China, weitere führende Mitglieder sind unter anderem die Gouverneure der Provinzen Hubei und Sichuan.

Im Jahr 1989 endeten die Voruntersuchungen für das Projekt, an denen auch ausländische Experten verschiedener Fachgebiete beteiligt wurden. Im April 1992 verabschiedete der 7. Nationale Chinesische Volkskongress die Resolution zur Durchführung des Drei-Schluchten-Projektes. Namensgebend für das Projekt und den Staudamm ist die für ihre Schönheit bekannte und vom Rückstau betroffene Schluchtenstrecke am Mittellauf des Yangtze.

In diesem Zusammenhang muss kurz auf den Gezhouba-Staudamm eingegangen werden. Dieser befindet sich in der Stadt Yichang, 30 km flussabwärts des Drei-Schluchten-Staudamms. Der Gezhouba-Staudamm war der erste Damm am Yangtze und galt als Testdamm für das Drei-Schluchten-Projekt. Die Bauarbeiten starteten in den 70er Jahren und wurden 1988 beendet. Bislang ist er der größte (fertiggestellte) Staudamm Chinas. Das Elektrizitätswerk des Staudamms ist noch immer das größte Chinas mit einer möglichen jährlichen Leistung von 1.570 GWh (15,7 Mrd. KWh) (DTK 2002, KING et al. 2001). Die Gesamtlänge des Damms beläuft sich auf 2606 m, die Höhe der Staumauer beträgt 70 m. Die Speicherkapazität beträgt rund 1,6 Mrd. m³ (KING et al. 2001). (Zum Vergleich: der Bodensee besitzt ein durchschnittliches

Wasservolumen von rund 48 Mrd. m³; Quelle: DTK 2003.)

Die Karte 2.1 zeigt die Ausdehnung des durch den Drei-Schluchten-Staudamm entstehenden Stausees. Der Stausee reicht von Sandouping (Standort des Drei-Schluchten-Staudamms, rund 40 km flussaufwärts von Yichang) am Mittellauf des Yangtze bis Chongqing am Oberlauf des Yangtze und weist eine Länge von 663 km auf.



Karte 2.1: Ausdehnung des Stausees

Als optimaler Standort für die Durchführung des Projektes wurde Sandouping gewählt. Dieser Standort bzw. das Gebiet um diesen Ort erfüllt die folgende wichtige Voraussetzungen:

- ein harter, kompakter Granit-Untergrund, der enormen Dauer-Druckspannung standhält;
- maximal schwache Erdbebenintensität (bis Stufe IV auf der Mercalli-Skala⁷) und geringe Erdbebenhäufigkeit;
- im Umkreis von rund 15 km sind keine Rupturen⁸ oder Verwerfungen vorhanden;
- die Klüftigkeit und Permeabilität des Untergrunds ist gering;
- das Flussbett ist breit und weist flache Ufer auf.

(Quelle: DTK 2002, KING et al. 2001)

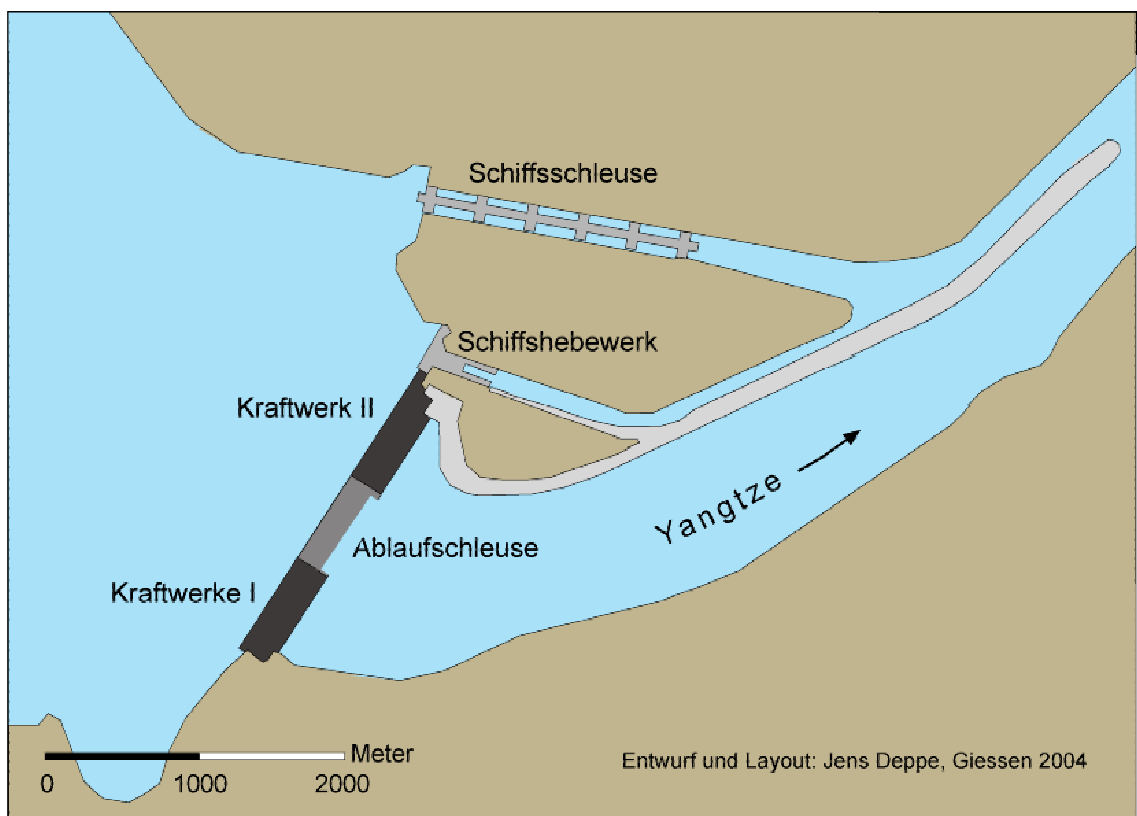
Dies gewährleistet maximale Sicherheit für den Bau und das Betreiben der

⁷ entspricht einer Stärke von 4,3 auf der Richter-Skala

⁸ Oberbegriff für Klüfte, Spalten und Störungen jeglicher Art

Stauanlagen. Zudem liefert eine Insel im Flussbett günstige Bedingungen für eine schrittweise Durchführung der Bauabschnitte des Projektes.

Einen vereinfachten Überblick über die Anordnung der Anlage des Drei-Schluchten-Staudamms gibt die Detailkarte 2.2. Zur Karte muss angemerkt werden, dass es sich bei den beiden Kraftwerken und der Ablaufschleuse nicht um separate Gebäude handelt, sondern dass sie in die Schwergewichtsmauer integriert sind, die das eigentliche Bauwerk bildet. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die Darstellung der Schwergewichtsmauer verzichtet. Erläuterungen über Funktionen und Kapazitäten der aufgeführten Anlagen folgen weiter unten.



Detailkarte 2.2: Übersicht der Anlagen des Drei-Schluchten-Staudamms

Die ursprüngliche Planung (die für diese Beschreibung des Drei-Schluchten-Staudamms benutzt wird) ging von einer Bauzeit von 17 Jahren aus und wurde in drei Bauabschnitte eingeteilt. Hier ein kurzer Überblick über die Bauphasen und der zu erreichenden Teilziele (CWRC 2000):

1. Bauabschnitt: 1993 – 1997

- Bau einer provisorischen Schiffsschleuse am linken Flusssufer
- Erstellen des Umleitungskanals am rechten Flusssufer
- Bau des Längskofferdamms (mit Integration der Flussinsel)
- (Schifffahrt erfolgt noch im natürlichen Flussbett)

2. Bauabschnitt: 1998 - 2003

- Öffnung des Umleitungskanals, Verlegung der Schifffahrt in Umleitungskanal bzw.

provisorische Schiffsschleuse

Schüttung der Kofferdämme im Flussbett

Baugrubenaushub für Sperrenwerk und Bau der Sperre mit linkem Kraftwerk (Kraftwerk II) und Hochwasserentlastungsanlage

Bau der Schiffsschleuse und des Schiffshebewerks am linken Flussufer

Inbetriebnahme der ersten Turbinen in Kraftwerk II

3. Bauabschnitt: 2004 - 2009

Schüttung der Kofferdämme zur Sperrung der Flussumleitung (Aufstauung des Yangtze bzw. des Stauseepegels bis 135 m über Meeresspiegel)

Inbetriebnahme des Kraftwerks II und der Schiffsschleuse

Bau der Sperre mit rechtem Kraftwerk (Kraftwerk I)

Hochwasserabfluss durch Grundablass und Zwischenablass der Hochwasserentlastungsanlage

Einen Überblick über die Dimensionen der Staumauer des Drei-Schluchten-Staudamms und der enthaltenen Anlagen gibt die folgende Tabelle 2.1. Direkt im Anschluss folgt Tabelle 2.2, die die Ausmaße des entstehenden Stausees aufzeigt. Zur besseren Veranschaulichung sind die Ausmaße des Bodensees enthalten.

Tabelle 2.1: Übersicht über die Eigenschaften der Komponenten des Drei-Schluchten-Staudamms

Bauwerk	Eigenschaften
Staumauer	Kronenlänge: 2310 m Breite: Basis rund 120 m, Krone rund 40 m Höhe (Basis bis Krone): rund 175 m; Kronen auf 185 m ü. M. Auf 90 m ü. M. befinden sich 23 Mittelauslässe mit 7 m Breite und 9 m Höhe für Grundablass/Stauraumspülung
Schiffshebewerk	5 Schleusenammern zur Überwindung von 101 Höhenmetern 2 getrennte Wasserwege Kapazität: für Schiffe bis jeweils 10.000 t Gewicht Größe der Kammern: 280 m lang und 34 m breit
Schiffsschleuse	Kapazität: für Schiffe bis 3.000 t Gewicht Kammergröße: Länge: 120 m, Breite: 18 m, Höhe: 3,5 m
Kraftwerk I („rechtes“)	Länge: 643 m Turbinen: 14 Stück mit jeweils 700 MW Leistung Fallhöhe: rund 110 m
Kraftwerk II („linkes“)	Länge: 584 m Turbinen: 12 Stück mit jeweils 700 MW Leistung Fallhöhe: rund 110 m

Quelle: DTK 2002

Tabelle 2.2: Kenndaten der Ausmaße des entstehenden Stausees („Drei-Schluchten-Stausee“) mit Vergleich zum Bodensee

Kenndaten	„Drei-Schluchten-Stausee“	Bodensee
Länge	rund 633 km	größte Länge 63 km
Breite	durchschnittlich 1,1 km im Bereich der Oberfläche (ca. 1/7 des Stausees mit Breite zwischen 1,0 und 1,7 km, restliche 6/7 mit Breite < 1,0 km), dies entspricht einer Verdopplung der ursprünglichen Breite des Yangtze	größte Breite 14 km
Tiefe	größte Tiefe rund 123 m an Staumauer (bei maximaler Stauhöhe)	größte Tiefe 252 m
Oberfläche	1084 km ²	571 km ²
Volumen	39.300 Mio. m ³	48.500 Mio. m ³

Quelle: DTK 2002

Mit der Fertigstellung und vollständigen Inbetriebnahme des Drei-Schluchten-Staudamms sind drei Stauziele geplant. Die in Tabelle 2.2 angeführten Zahlenwerte beziehen sich mit Ausnahme der Tiefe auf das „normale“ Stauziel von 175 m über Meeresspiegel. Dies Stauziel wird als „normal“ bezeichnet, da bei diesem Pegelstand die Kraftwerke ihre volle Leistung entfalten können. Dieser Pegel soll jährlich im Zeitraum von Oktober bis Mai gehalten bzw. wieder aufgeflutet werden. Wieder aufgeflutet deshalb, da in dem Zeitraum von Juni bis September der Pegel auf 145 m über Meeresspiegel reduziert wird, um Rückhalteraum für den Hochwasserschutz zu schaffen (siehe Kapitel 3.1.3 Klima). Sinkt der Pegel auf diesen Wert, verringert sich das Volumen des Stausees von 39.300 Mio. m³ auf 17.150 Mio. m³ (DTK 2002, KING et al. 2001). Je nach Staulevel wird der ursprüngliche (vor der ersten Flutungsphase) Pegel des Yangtze zwischen 40 m bei Chongqing und 110 m an der Staumauer angehoben. Bei extremen Niederschlagsereignissen steht die maximal mögliche Stauhöhe von 180,4 m über Meeresspiegel zur Verfügung um zusätzlichen Rückhalteraum zu schaffen. Entsprechend steigt der Wasserstand des Stausees um dann noch einmal 5,4 m (DTK 2002, KING et al. 2001).

Die Gesamtkosten für das Staudammprojekt wurden zu Beginn der Arbeiten 1993 auf rund 12 Mrd. (DTK 2002). Euro kalkuliert. Im Jahr 2000 betrugen die geschätzten Kosten jedoch bereits 27 Mrd. Euro (DTK 2002). Darin enthalten sind auch Nebenkosten für z.B. Stauraumräumung (Entfernen von schifffahrtsgefährdenden Gebäuden im Stausee, Versetzen von berühmten Denkmälern, etc.), Umsiedlungsmaßnahmen der betroffenen Bevölkerung und dergleichen. Ende 2000 lagen die tatsächlichen Ausgaben bei rund 7 Mrd. Euro, davon wurde nur rund die Hälfte für die eigentlichen Baukosten verwendet (DTK 2002, KING et al. 2001).

Für die Finanzierung des Projektes wurden bzw. werden verschiedene Quellen herangezogen. Zum einen sind dies staatliche Quellen durch Einführung von Steuern und Gewinne aus Stromverkäufen, zum anderen durch Aufnahme von Krediten und Anleihen. Nähere Informationen zum Thema der Finanzierung: siehe DTK 2002 oder KING et al. 2001.

Seit 2002/2003 können zudem Erlöse genutzt werden, die aus Stromverkäufen der ersten in Betrieb genommenen Turbinen des Kraftwerks I erzielt werden.

Die Hauptfunktionen des Drei-Schluchten-Staudamms sind:

- Energiegewinnung aus Wasserkraft:

Die eingebauten Turbinen sollen eine durchschnittliche Jahresstromproduktion von 84.700 GWh leisten. Dies entspricht ungefähr einem Neuntel des gesamten chinesischen Energiebedarfs und soll den Verbrauch von rund 50 Mio. Tonnen an Braunkohle pro Jahr ersetzen (DTK 2002, KING et al. 2001, CWRC 2000).

- Hochwasserschutz für Mittel- und Unterlauf des Yangtze:

Seit dem Jahr 185 v. Chr. werden in China Hochwasserereignisse aufgezeichnet. Aus diesen Aufzeichnungen ergibt sich, dass am Mittel- und Unterlauf des Yangtze bis 1911 Hochwasserereignisse mit einer Häufigkeit von etwa einem Hochwasser pro Jahrzehnt auftraten. Seit 1912 hat sich die Hochwasserhäufigkeit verdoppelt: Hochwasser treten seit dem im Schnitt alle fünf Jahre auf. Diese Hochwasser äußern sich nicht nur in höheren Pegelständen des Yangtze, sondern die Überschwemmungen reichen weit ins Land hinein. Zwar sind immer neue Deichanlagen angelegt worden, aber diese Schutzmaßnahmen sind nicht mehr ausreichend, wie die verheerenden Überschwemmungen in den letzten Jahrzehnten gezeigt haben. Die Pegelstände können bei Hochwasserereignissen 6 bis 17 Meter höher als die angrenzenden Flussufer liegen. Dazu kommt, dass diese Flussufer überwiegend aus Ebenen bestehen. Rund 50 Mio. Menschen leben in den potenziell gefährdeten Gebieten (Mittel- und Unterlauf), ca. 1,5 Mio. Hektar landwirtschaftlicher Nutzflächen am Unterlauf müssen geschützt werden. Zu diesem Schutz wird, wie oben beschrieben, der Wasserstand des Stausees im Juni jedes Jahres von 175 m auf 145 m über dem Meeresspiegel abgesenkt. Der so geschaffene Rückhalteraum von 22.150 Mio. m³ ist nach den Berechnungen der Techniker für den Hochwasserschutz ausreichend (DTK 2002, KING et al. 2001, CWRC 2000).

- Entwicklungsumgebung/Schifffahrt:

Bisher sind die Küstenregionen bzw. der Osten Chinas wirtschaftlich weiter entwickelt als der Westen bzw. das Landesinnere. Mit der Entstehung des Stausees können Frachtschiffe bis 10.000 BRT den Yangtze landeinwärts bis Chongqing befahren. Dies bedeutet eine potenzielle Steigerung des Frachtaufkommens von derzeit 10 Mio. t auf rund 50 Mio. t pro Jahr mit einer gleichzeitigen Senkung der

Frachtkosten um rund 35% (DTK 2002, KING et al. 2001).

Die chinesische Regierung erhofft sich dadurch, das Landesinnere schneller und kostengünstiger zu entwickeln. Derzeit entsteht in Chongqing ein neues Handels- und Finanzzentrum, in dem nicht nur inländische Unternehmen angesiedelt werden, sondern das auch ausländische Unternehmen und Investoren durch Zoll- und Steuervergünstigungen anziehen soll.

Zu diesen geplanten bzw. erhofften Funktionen und Auswirkungen kommen weitere positive „Begleiterscheinungen“ (diese Übersicht ist nicht vollständig und enthält nur die wichtigsten Auswirkungen):

- Einnahmen durch nationalen und internationalen Tourismus der Baustelle und später der fertigen Anlage (KING et al. 2001, CWRC 2000);
- Verbesserung der Infrastruktur zwischen Yichang und Sandouping (Bau von Autobahnen, Anlegestellen für Schiffe, etc.) (KING et al. 2001) ;
- Schaffung (temporärer) Arbeitsplätze: rund 27.000 Arbeiter und Arbeiterinnen sind allein auf der Baustelle beschäftigt. Dazu kommen noch Arbeitsplätze in Zulieferunternehmen im In- und Ausland (DTK 2002);
- Möglichkeit der Bewirtschaftung des Stausees mit Aqua-Kulturen (Krabben, Fisch, Enten, etc.) (KING et al. 2001, CWRC 2000).

Es liegt auf der Hand, dass ein solch riesiges Projekt auch Probleme und negative Auswirkungen mit sich bringt. Im folgenden eine kurze Übersicht der Folgen und Probleme. Wie schon bei den o.a. Vorteilen, erhebt auch diese Übersicht keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

- Umsiedlung:
Durch die Überflutung von 19 Städten und 1352 Dörfern mussten zwischen 1,2 Mio. und 1,7 Mio. Menschen umgesiedelt werden und es gingen rund 24.500 Hektar Ackerland verloren. Für die betroffene Bevölkerung mussten neue Siedlungen errichtet und/oder neue Ackerflächen zugewiesen werden. Die Kosten hierfür belaufen sich nach Schätzungen auf rund 5,5 Mrd. Euro bis zur vollständigen Umsiedlung (DTK 2002).
- Sedimentations- und Verlandungsprobleme:
Messungen über einen Zeitraum von 40 Jahren am Gezhouba-Staudamm ergaben eine durchschnittliche Sedimentfracht des Yangtze von rund 526 Mio. Tonnen pro Jahr. Nach Berechnungen des Betreiberkomitees ist mit einer Verlandung von rund 8,6 Mio. Tonnen an Sedimenten pro Jahr zu rechnen. Nach 100 Betriebsjahren soll sich dann eine Balance zwischen Akkumulation und Abtransport einstellen. Zu dem Zeitpunkt werden zwischen 8 und 14% des Stauraumvolumens durch die Sedimentation verloren gegangen sein. Allerdings wird von Seiten der Betreiber darauf hingewiesen, dass die Morphologie des Stauraums Ausbaggerungsarbeiten

begünstigt. Die Leistungspotentiale der Turbinen der Wasserkraftwerke sollen durch die Sedimentation nicht beeinträchtigt werden, da durch die jährliche Pegelabsenkung im Mai über die Mittelablässe eine ausreichende Stauraumpspülung gegeben ist. Außerdem besteht jederzeit die Möglichkeit der Ausbaggerung der betroffenen Stellen. (CWRC 2000)

Zur Verringerung der Sedimentfracht sind zur Zeit diverse (Wieder-) Aufforstungsmaßnahmen am Oberlauf des Yangtze bzw. flussaufwärts von Chongqing in Planung oder werden bereits durchgeführt. Außerdem werden weitere Talsperren in Einzugsgebieten verschiedener Nebenflüsse des Yangtze gebaut oder befinden sich in Planung (DTK 2002, KING et al. 2001, CWRC 2000).

- Verlust von Kulturerbe:

Insgesamt werden durch die Überflutung 44 historische oder archäologisch bedeutsame Stätte und Denkmäler zerstört. Dazu zählen Tempelanlagen oder alte Steininschriften. Nur wenige Monumente wurden hochwassersicher versetzt (DTK 2002).

- Probleme der Erhaltung von Tier- und Pflanzenarten:

Der Lebensraum vieler Tier- und Pflanzenarten wird zwar eingeschränkt, jedoch ist der übrigebleibende Raum ausreichend groß (Ausbreitung weit über Wasserstand) um einen Fortbestand zu sichern. Keine Möglichkeiten der Bestandserhaltung bestehen jedoch für den Yangtze-Delphin und den China-Alligator. Diese beiden Arten werden voraussichtlich aussterben (DTK 2002).

- Bautechnische Probleme:

Diese Probleme betreffen die Anlagen des Staudamms und die angrenzenden Hänge. So ist laut Experten die Festigkeit des Gesteins an den freigelegten Seitenflanken der Schiffsschleuse überschätzt worden und soll dem Druck des Bauwerks inklusive Wasserlast nicht standhalten. Außerdem wird Steinschlag von den Oberhängen erwartet, der die Schifffahrt gefährden könnte. Nicht bekannt ist, wie der Pegelanstieg sich auf tiefere Gesteinsschichten auswirkt. Durch Tiefenerosion könnte es zu Instabilitäten und anschließenden Erd- und Gesteinsrutschungen kommen. Außerdem soll die Qualität des verwendeten Betons für die Belastung nicht ausreichend sein (DTK 2002).

- Korruption und Missbrauch von Projektgeldern:

Das tatsächliche Ausmaß an Missbrauch und Korruption liegt im Dunkeln. Zum einen sollen sich politische Kader an den Entschädigungsgeldern, die für die betroffene Bevölkerung vorgesehen sind, „bedient“ haben (siehe Kap. 4.1.2.), zum anderen soll an den Geldern für den Bau der Staumauer inklusive seiner Anlagen „gespart“ und Gelder für eigene Zwecke umgeleitet worden sein, wie zum Beispiel an dem oben erwähnten Beton (DTK 2002).

3 Das Xiangxi-Einzugsgebiet

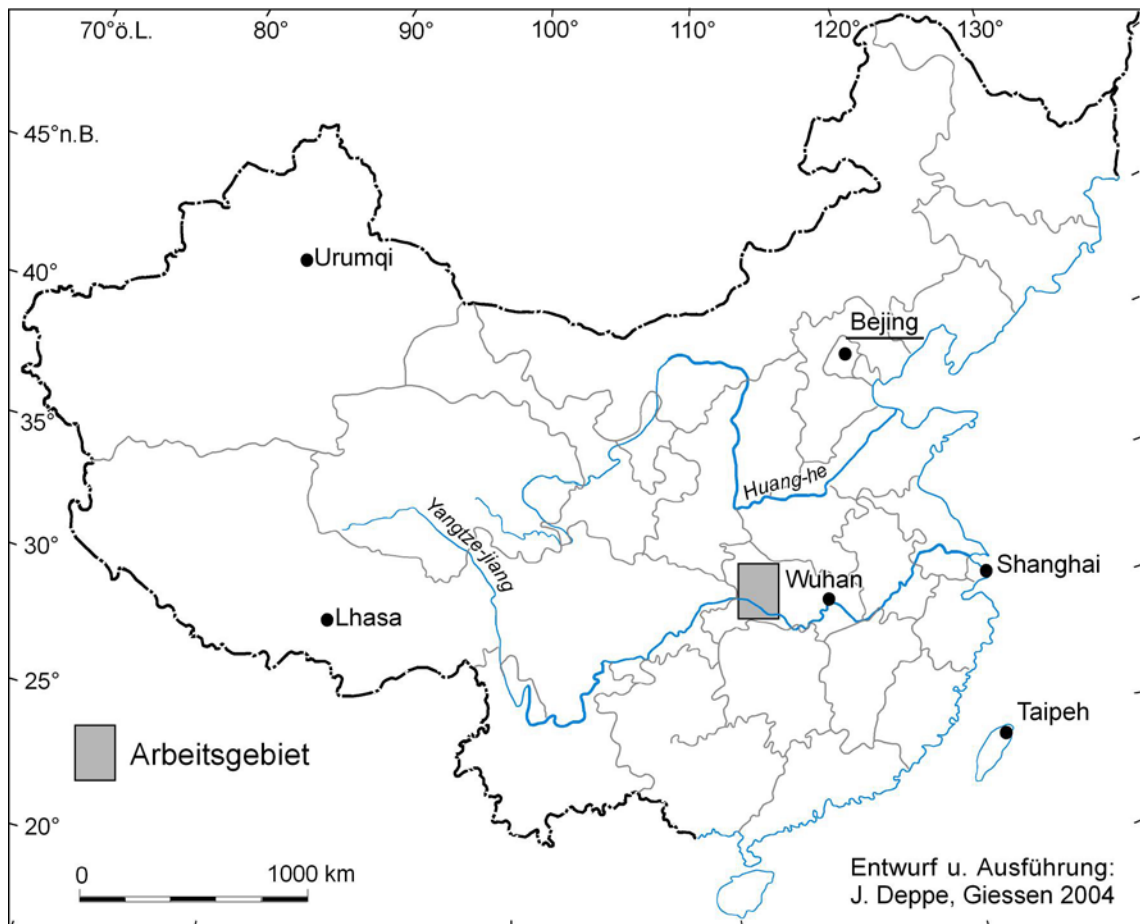
Dieses Kapitel beschreibt in zwei Teilen das Xiangxi-Einzugsgebiet. Der erste Teil ist eine naturräumliche Beschreibung, in dem die physio-geographischen Eigenschaften vorgestellt werden. Der zweite Teil dieses Kapitels behandelt die Bevölkerung und Landnutzung des Xiangxi-Einzugsgebietes bzw. der Landkreise.

3.1 Der Naturraum

3.1.1 Geographische Lage und administrative Gliederung

Der Xiangxi, ein Nebenfluss des Yangtze, mündet 39,6 km flussaufwärts des Dreischluchten-Staudamms in den Yangtze. Das Quellgebiet des Xiangxi liegt in Shennongjia, die Mündung im Kreis Zigui (vgl. Karte 3.2). Die Gesamtlänge des Xiangxi beträgt 94 km, das Einzugsgebiet hat eine Größe von rund 3172 km².

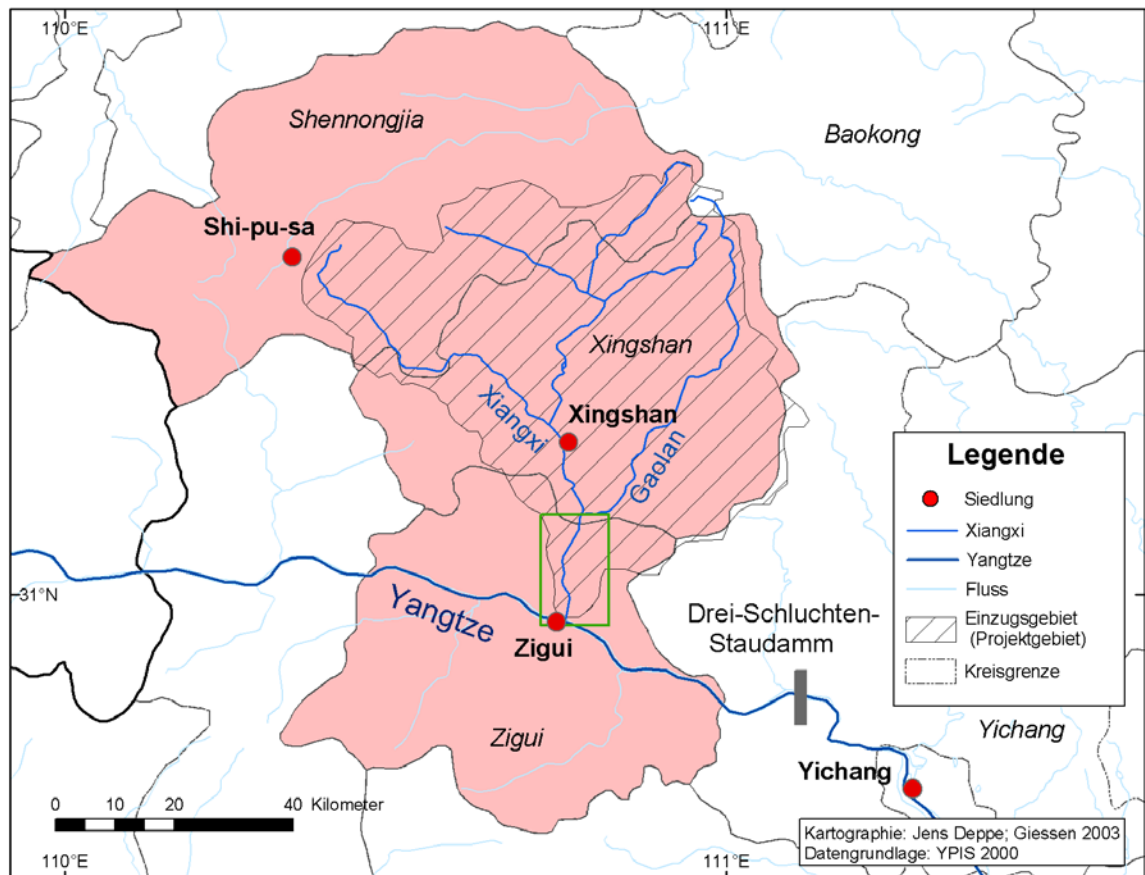
Karte 3.1 zeigt die Lage des Projektgebietes in China.⁹



Karte 3.1: Die Lage des Projektgebietes in China

⁹ Hier dargestellte Übersichtskarten besitzen zwecks besserer Orientierung geographische Koordinaten mit Grad- und Minuteneinheiten; thematische Karten beinhalten UTM-WGS84 Koordinaten

Das Einzugsgebiet des Xiangxi erstreckt sich über die drei Kreise Shennongjia, Xingshan und Zigui, im Westen der Provinz Hubei an der Grenze zur Provinz Sichuan. Die Bezeichnung Kreis für Shennongjia ist eigentlich falsch, da auf dem Gebiet von Shennongjia ein Naturschutzgebiet eingerichtet wird und der Kreis Shennongjia dazu in einen Distrikt umgewandelt wurde („Walddistrikt Shennongjia“). Aus diesem Grund beschränkt sich die spätere Suche nach geeigneten Ausweichflächen auf die Kreise Zigui und Xingshan.



Karte 3.2: das Xiangxi-Einzugsgebiet

Die in Karte 3.2 rosafarbenen Flächen sind die Kreise Zigui und Xingshan und der Walddistrikt Shennongjia. Das grüne Rechteck zeigt die ungefähre Lage und Größe des Arbeitsgebietes. Die in der Karte gezeigten, aber aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht beschrifteten sonstigen Nebenflüsse des Xiangxi sind der Nanyang, der Gufu und der Xiayang.

Im Bereich der östlichen Kreisgrenze von Zigui wechselt der Yangtze zwischen Ober- und Mittellauf (je nach Quelle verschiebt sich dieser Wechsel bis nach Yichang). Wenige Kilometer weiter östlich des Staudamms verlässt der Yangtze das Gebiet der Drei Schluchten und fließt in die Han-Ebene (auch als Mittlere und Untere Changjiang¹⁰-Ebene bezeichnet).

¹⁰ Changjiang (chinesischer Name für) = Yangtze

Die Tabelle 3.1 gibt die Eckpunkte des Xiangxi-Einzugsgebiet in Form von geographischen Koordinaten an. Die Datengrundlage sowohl für diese Tabelle, als auch für andere in diesem Kapitel genannten Werte und Karten, ist das YPIS.¹¹

**Tabelle 3.1: Geographische Eckpunkte des Xiangxi-Einzugsgebietes
(=„Projektgebiet“)**

	Östliche Länge	Nördliche Breite
Südlichster Punkt	110°46'	30°37'
Nördlichster Punkt	110°55'	31°39'
Westlichster Punkt	110°17'	31°28'
Östlichster Punkt	111°07'	31°15'

Die größte Ausdehnung beträgt:

- von Nord nach Süd 68,4 km, und
- von West nach Ost 69,9 km.

Das Einzugsgebiet beschreibt grob die Form eines sich nach Süden verjüngenden Trichters. Der größte Teil hiervon befindet sich in dem Kreis Xingshan, zwei ungefähr gleich große Teile liegen jeweils in Shennongjia und Zigui. Ein sehr geringer Teil (ca. 53 km² bzw. 1,7%) des Einzugsgebietes liegt im Kreis Yichang, der östlich an Xingshan und Zigui angrenzt. Ein zu vernachlässigender Teil des Einzugsgebietes liegt im Kreis Baokang, nördlich des Kreises Yichang und östlich des Kreises Xingshan. Die Größe dieses Teils beträgt 23,19 km² bzw. 0,75%. Die Gesamtfläche des Kreises Xingshan beträgt 2682 km², die von Zigui 2695 km². Der Shennongjia-Walddistrikt besitzt eine Gesamtfläche von 3847 km². Die Grenzverläufe der Kreise verändern sich in unregelmäßigen Zeitabständen, so dass für die Größe der Kreise gelegentlich auch andere Werte angegeben werden.

Das eigentliche Arbeitsgebiet erstreckt sich von Nord nach Süd von der Mündung des Gaolan in den Xiangxi bis zur Mündung des Xiangxi in den Yangtze. Von West nach Ost bilden die an den Xiangxi anschließenden Hänge die Grenze des Arbeitsgebietes. Das Arbeitsgebiet weist die ungefähre Form eines Rechtecks auf. Die Koordinaten für die Eckpunkte des Arbeitsgebietes können aus der folgenden Tabelle 3.2 entnommen werden.

¹¹ YPIS: Yangtze Project Information System, Stand 2000

Tabelle 3.2: Geographische Eckpunkte des „Arbeitsgebietes“

Eckpunkt	Östliche Länge	Nördliche Breite
Nord-West	110°43'	31°07'
Nord-Ost	110°48'	31°07'
Süd-Ost	110°48'	30°57'
Süd-West	110°43'	30°57'

Die größte Ausdehnung beträgt:

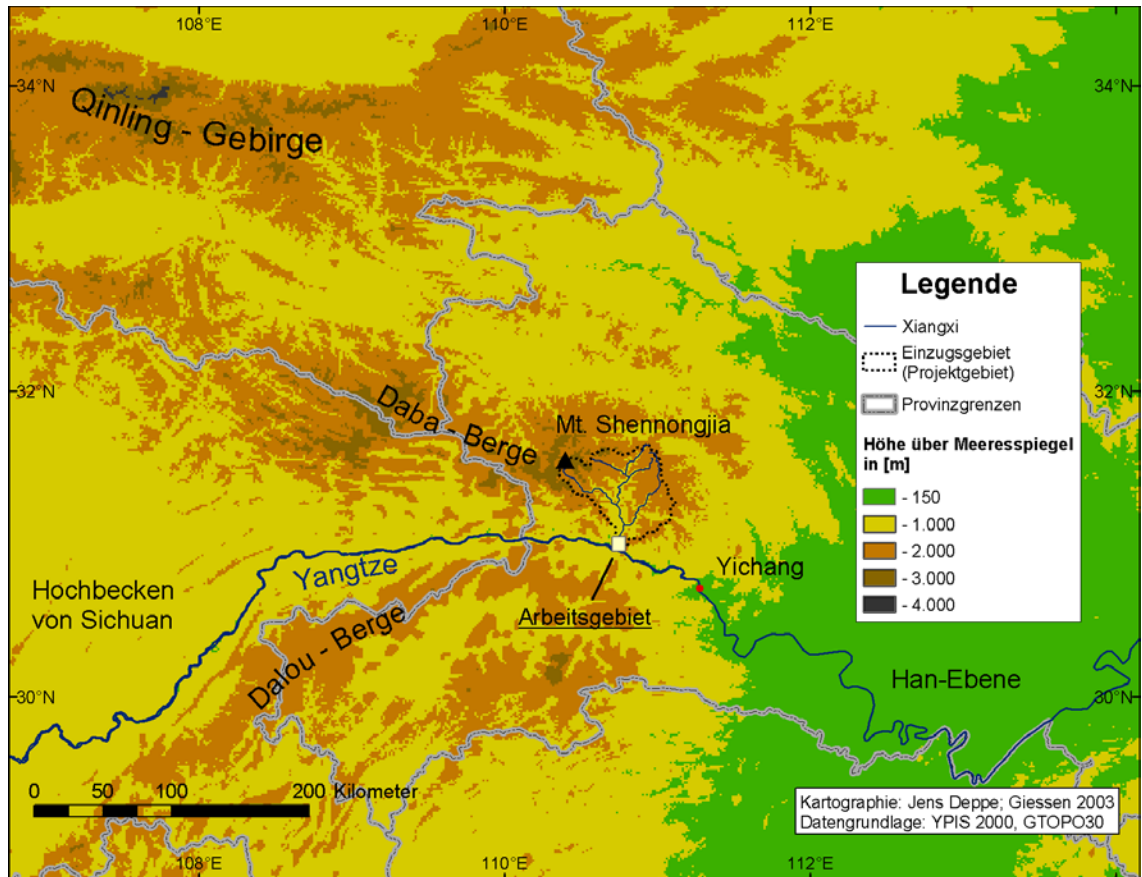
- von Nord nach Süd 17,4 km, und
- von West nach Ost 7,6 km.

Das Arbeitsgebiet umfasst eine Grundfläche von rund 133 km² und eine (auf Grundlage des digitalen Höhenmodells berechnete) Landoberfläche von rund 176 km².

3.1.2 Geologie und Relief

Chinesische Wissenschaftler bezeichnen China als ein gebirgiges Land, bei dem rund 65% der gesamten Landfläche aus Gebirgen, Hügellandschaften und Hochplateaus bestehen (ZHAO 1986, WU et al. 1984). Nach Schätzungen liegen 25,2% der Landfläche bis 500 m über dem Meeresspiegel während 25,9% eine Höhe über dem Meeresspiegel von 3000 m und mehr aufweisen. Demnach werden fünf übergeordnete Gebirgssysteme ausgewiesen (vgl. ZHAO 1986), jeweils nach Ausrichtung der Längsachse. Für das Projektgebiet relevant ist hiervon das Qinling-(Daba-)Gebirge. Es gehört zu der Gruppe von Gebirgssystemen, die als „Ost-West ausgerichtete Gebirgssysteme“ bezeichnet wird. Dies Gebirge schließt sich an das Projektgebiet an und übt einen bedeutenden klimatischen Einfluss auf die Region und das Projektgebiet aus (siehe Kapitel „3.1.3 Klima“).

Die Karte 3.3, auf der nachfolgenden Seite, zeigt die wichtigsten morphologischen Einheiten in der Umgebung des Xiangxi.



Karte 3.3: Übersicht über die wichtigste morphologischen Einheiten

Der nördliche bis nordwestliche Teil des Xiangxi-Einzugsgebietes liegt in den Daba-Bergen (die größte Höhe weist der „Mt. Shennongjia“ mit 3105¹² m über dem Meeresspiegel auf), die weiter nördlich bis nord-westlich in das Qinling-Gebirge (mit maximalen Höhen über 3700 Meter über Meeresspiegel) übergehen (ZHAO 1986).

Westlich des Xiangxi steigt das Relief schnell auf über 1000 m über dem Meeresspiegel an und bildet als Teil der höher gelegenen Landstufe den Übergang zu dem Hochbecken von Sichuan (auch als Sichuan-Ebene oder als Rote Ebene bezeichnet) und dem Plateau von Guizhou. Östlich schließt sich die Han-Ebene an, mit durchschnittlichen¹³ Höhen von rund 30 m über Meeresspiegel (ZHAO 1986).

Im Bereich von ca. 90 m über Meeresspiegel steht Granit aus dem späten Jura oberflächlich an. Im Einzugsgebiet weiter nördlich und im Relief ansteigend, steht in Höhenlagen bis ca. 1300 m über Meeresspiegel Roter Sandstein unbekannten Alters an, bis ca. 1550 m über dem Meeresspiegel findet sich violetter Tonschiefer, bis ca. 1900 m über dem Meeresspiegel Kalkstein des frühen Paläozoikums und in Höhen über 2000 m über dem Meeresspiegel findet man Grünen und Gelben sandigen Tonschiefer aus dem mittleren Proterozoikum bis späten Proterozoikum. Den

¹² andere Quellen(Reiseführer, Internetseiten, etc.) geben eine Höhe von 3053 m über Meeresspiegel an

¹³ eigene Berechnung, Datengrundlage: digitales Höhenmodell „Gtopo30“, Quelle <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html> (Stand November 2002)

flächenmäßig größten Anteil an oberflächlich anstehendem Gestein haben hierbei der Kalkstein und die Gelben und Grünen sandigen Tonschiefer.¹⁴ Das Daba-Gebirge besteht hauptsächlich aus den Kalksteinformationen aus dem frühen Paläozoikum und frühen bis mittleren Trias, die auch im Qinling-Gebirge zu finden sind. Das darunter liegende Grundgebirge besteht aus bisher nicht näher bestimmten kristallinen, metamorphen und magmatischen Gesteinen präkambrischen Alters (GEOMAPX, SCHOLTEN et al. o. J.).

Für den gesamten Kreis Zigui liegen Daten¹⁵ über den prozentualen flächenmäßigen Anteil und das Vorhandensein in verschiedenen Höhenstufen für die häufigsten Gesteine vor. Die Tabelle 3.3 gibt diese Daten wieder.

Tabelle 3.3: Art des Gesteins, prozentualer Flächenanteil und Verteilung auf Höhenbereiche für den Kreis Zigui

Gesteinsart	Anteil an Gesamtfläche in [%]	Höhenbereich über Meeresspiegel in [m]
Quatäre Tone	0,9	65-200
Granit	0,3	80-950
Kalkstein	42,6	85-1900
Gelber und Grün-Sandiger Tonschiefer	31,9	85-2057
Violetter Tonschiefer	20,2	90-1550
Roter Sandstein	0,3	400-1300
Sonstige	3,8	-

Quelle: SCHOLTEN et al. o. J.

Die Erdkruste weist im Gebiet der Drei Schluchten, dem Qinling-Gebirge und dem Becken von Sichuan eine Dicke von rund 36 km auf. Das Gebiet der Drei Schluchten ist seismisch schwach aktiv. Das stärkste bisher gemessene Erdbeben fand 1979 statt. Das als Zigui-Beben aufgezeichnete Erdbeben erreichte eine Stärke von 5,1 auf der nach oben offenen Richterskala bzw. eine Intensität von V bis VI auf der modifizierten Mercalli-Intensitätsskala. Rupturen, die im Drei-Schluchten-Gebiet auffindbar sind, weisen West-Ost und Südwest-Nordost Orientierungen auf. Im Xiangxi-Einzugsgebiet finden sich zwei dieser Störungen. Eine mit einer SSW-NNO Orientierung und einer Länge von rund 60 km. Vom Yangtze aus gesehen, befindet sie sich nach rund 45 km östlich der Stadt Xingshan. Die zweite Störung geht von der erstgenannten auf der Höhe der Stadt Xingshan ab und verläuft mit einer Nordost-Südwest Orientierung in westlicher Richtung, die Länge beträgt rund 70 km (ZHAO 1986, GEOMAPX).

¹⁴ nach der Aussage der chinesischen Bodenkundler *Shi Xuezheng* und *Li Zhongpei*

¹⁵ aus bisher nicht veröffentlichten Projektinformationen

Das Relief des Projektgebietes lässt sich leicht charakterisieren: steil und zerklüftet.

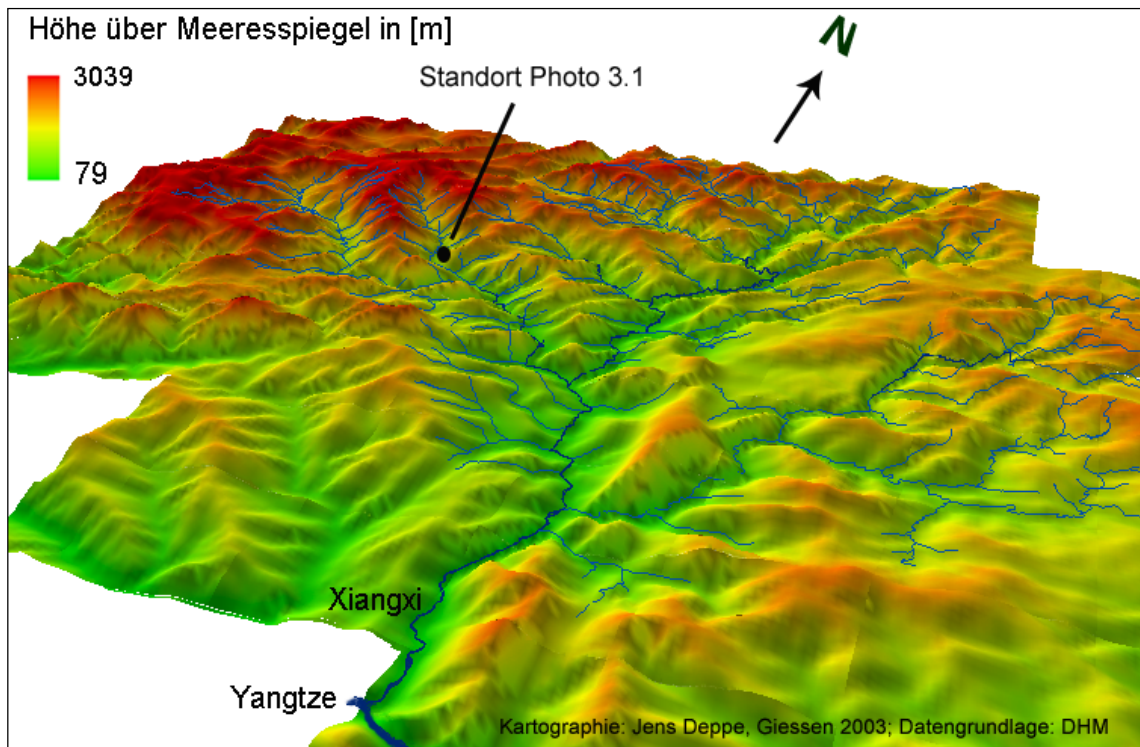


Abbildung 3.1 dreidimensionale Ansicht des Xiangxi-Einzugsgebietes

Wie in Abbildung 3.1¹⁶ zu erkennen ist, nehmen Hangneigung und Zerklüftung von der Mündung aus in nord-westlicher Richtung zu.

Bild 3.1, auf der folgenden Seite, zeigt die starke Zerklüftung des Xiangxi-Oberlaufes. Das Bild, aufgenommen während des Feldaufenthaltes im April 2001, zeigt ein Wasserkraftwerk am Oberlauf des Xiangxi. Der Xiangxi selber ist nicht zu sehen, das Ufer befindet sich aber nur knapp 5 Höhenmeter unterhalb des Wasserkraftwerks.

¹⁶ Grundlage ist ein digitales Höhenmodell mit einer Auflösung von 10 Metern; die Darstellung ist 1,5fach überhöht.



Bild 3.1: Wasserkraftwerk am Xiangxi; Quelle: eigene Aufnahme

Der höchste Punkt innerhalb des Xiangxi-Einzugsgebietes weist eine Höhe von etwa 2560 m über dem Meeresspiegel auf. Der höchste Punkt des Arbeitsgebietes liegt auf rund 2020 m über Meeresspiegel. Der niedrigste Punkt des Projekt- und Arbeitsgebietes ist im Bereich der Mündung des Xiangxi in den Yangtze mit 83 m über dem Meeresspiegel. Die Quelle des Xiangxi liegt auf über 2300 m über Meeresspiegel.¹⁷ Zur Verdeutlichung des Gefälles des Xiangxi mag folgender Vergleich dienen: Hätte der Xiangxi ein gleichmäßig lineares Gefälle, so betrüge dies bei der Länge des Flusslaufes von 94 km 2,4%. Nimmt man nur die Luftlinie zwischen Mündung und Quelle von 70 km beträgt das Gefälle 3,2%. Zum Vergleich: Die Entfernung (Luftlinie) von der Zugspitze bis zum südwestlichen Stadtrand Münchens beträgt auch rund 70 km. Überträgt man die Werte des Xiangxi würde also ein Fluss, der auf der Zugspitze entspringt, seine Mündung am Stadtrand von München haben.

Für Xingshan und Shennongjia lässt sich das Relief mit Zahlenwerten beschreiben. Die Tabellen 3.4 und 3.5 geben die Verteilung der jeweiligen Gesamtfläche auf

¹⁷ Quelle: Digitales Höhenmodell.

verschiedene Hangneigungen wieder.

Tabelle 3.4: Prozentuale Verteilung der Fläche von Xingshan in Bezug auf verschiedene Hangneigungen

Hangneigung	bis 5°	bis 10°	bis 15°	bis 25°	bis 30°	über 30°
Prozentanteil	0,86%	3,19%	8,3%	26,8%	26,8%	34,2%

Quelle: SCHOLTEN et al. o. J.

Nur 0,86% der Gesamtfläche von Xingshan weisen eine Neigung von weniger als 5° auf. Diese Flächen sind natürlich hauptsächlich in Tälern zu finden. Im Gegensatz dazu stehen 87,8% der Fläche, die eine Neigung von mehr als 15° aufweisen. Und mehr als ein Drittel, 34,2%, besitzen eine Hangneigung von über 30°. Wird die Einteilung der Hangneigungsstufen aus der BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG¹⁸ benutzt, so sind 96,1% stark geneigt (Neigung von 10°-15°) bis steil, 34,2% der Gesamtfläche sind steil (Neigung von 20° und mehr). Nach der Kartieranleitung wären also nur 0,86% nicht bis sehr schwach geneigt.

Tabelle 3.5: Prozentuale Verteilung der Fläche von Shennongjia in Bezug auf verschiedene Hangneigungen

Hangneigung	bis 5°	bis 15°	bis 25°	bis 30°	über 30°
Prozentanteil	6,5%	14,3%	37,5%	37,1%	4,6%

Quelle: SCHOLTEN et al. o. J.

Ein etwas „flacheres“ Relief weist Shennongjia auf. Dort sind 6,5% der Flächen nicht bis sehr schwach geneigt (Hangneigung bis 5°). Mit Xingshan verglichen ist das immerhin das rund 7,5-fache. Der Anteil an sehr stark geneigten bis steilen Flächen beträgt annähernd 80% (79,2%).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Xiangxi-Einzugsgebiet ein stark geneigtes bis steiles Relief aufweist. Auch wenn die entsprechenden Daten für Zigui nicht ausreichend detailliert sind, kann diese Aussage getroffen werden, da sich nur ein kleiner Teil (8,5%) des Einzugsgebietes auf der Fläche von Zigui befindet.

Die Steilheit des Reliefs trifft auch auf das eigentliche Arbeitsgebiet zu. Die Tabellen 3.6 und 3.7 zeigen, wie zuvor Tab. 3.4 und Tab. 3.5, die prozentuale Verteilung der Fläche auf verschiedene Hangneigungen. Die Daten dazu wurden aus dem digitalen Höhenmodell extrahiert. Dabei orientiert sich die Auswahl der Hangneigungsklassen zum einen an der Klassenbildung von Xingshan, zum anderen an üblichen Klasseneinteilungen für den Bodenschutz. Zwar gibt es hier keine international

¹⁸ AG BODEN 1994, Seite 58

einheitliche Regelung, je nach Quelle und Autor variieren die Einteilungen (vgl. ILACO 1981, S. 449), aber Hangneigungen bis 6° werden allgemein als vertretbar angesehen, Hangneigungen von mehr als 19° sind hingegen für eine landwirtschaftliche Nutzung kritisch bzw. nicht mehr vertretbar.

Tabelle 3.6: Prozentuale Verteilung der Fläche des Arbeitsgebietes in Bezug auf die Hangneigungsklassen von Xingshan

Hangneigung	bis 5°	bis 10°	bis 15°	bis 25°	bis 30°	über 30°
Prozentanteil	5,5%	1,6%	4,4%	18,8%	15,0%	54,7%

Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage des digitalen Höhenmodells

Tabelle 3.7: Prozentuale Verteilung der Fläche des Arbeitsgebietes in Bezug auf Hangneigungsklassen aus Sicht des Bodenschutzes

	für landw. Nutzung unbedenklich	bedingt landwirt- schaftlich nutzbar	für landw. Nutzung kritisch
Hangneigung	bis 6°	6° - 19°	ab 19°
Prozentanteil	5,7%	11,6%	82,7%

Quelle: Eigene Berechnung auf Grundlage des digitalen Höhenmodells

Auch hier ist deutlich erkennbar, dass der größte Teil des Arbeitsgebietes Flächen mit starker bzw. steiler Neigung aufweist.

Die zwei folgenden Darstellungen (folgende Seite) verdeutlichen noch einmal die hohe Reliefenergie. Die Abbildung 3.2 zeigt eine dreidimensionale Ansicht des Arbeitsgebietes. Die Karte 3.4 stellt die Verteilung der verschiedenen Hangneigungsklassen im Arbeitsgebiet nach Tabelle 3.7 dar. Die Grundlage für beide Darstellungen bildet das digitale Höhenmodell.

Für eine übersichtlichere Ansicht sind die Flussläufe nur als gestrichelte Linien dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass sich die Flächen mit weniger als 6° Hangneigung mit kleinen Ausnahmen hauptsächlich im Bereich der Flusstäler befinden.

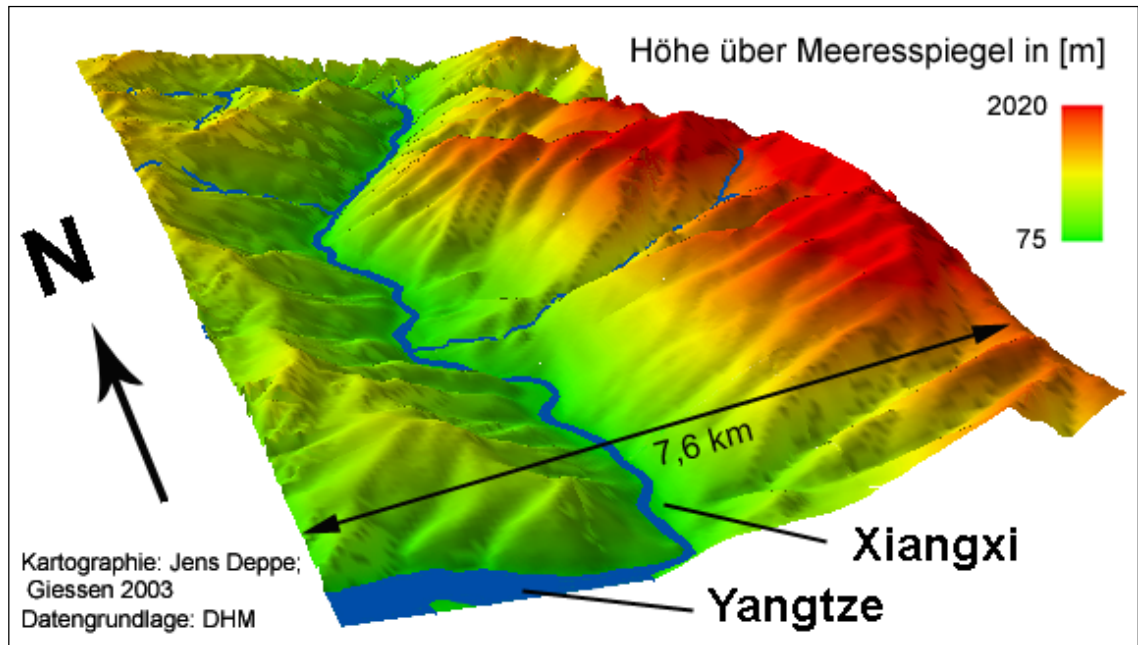
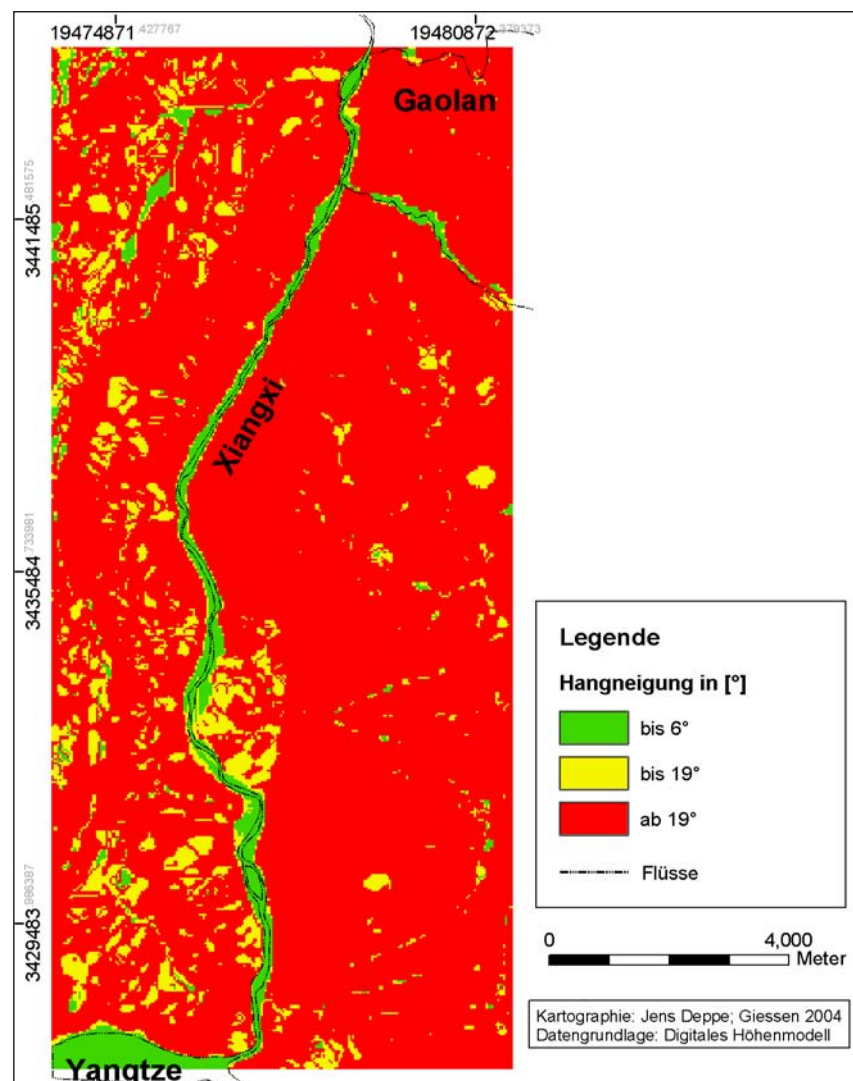


Abbildung 3.2: dreidimensionale Ansicht des Arbeitsgebietes



Karte 3.4: Verteilung der Hangneigungsklassen im Arbeitsgebiet

Zusammenfassend kann man im Hinblick auf die Erosionspotentiale sagen, dass für den LS-Faktor der USLE hohe Werte zu erwarten sind.

3.1.3 Klima

Die hier beschriebenen klimatischen Bedingungen des Xiangxi-Einzugsgebietes basieren auf der Klassifikation von Lu¹⁹, der die Klassifikation und Nomenklatur Köppens übernahm und für chinesische Verhältnisse modifizierte (vgl. LAUER 1995). Diese Modifikation besteht aus einer Erweiterung der vorhandenen Isothermen und Isohyeten, um die verschiedenen Klimate Chinas besser zu unterscheiden bzw. detaillierter zu unterteilen. Lu führt für Januar die -6°C und 6°C Isothermen und die jährlichen 750 mm und 1250 mm Isohyeten ein.

Danach wird China in 10 Haupttypen mit 27 Untertypen unterteilt. Das Xiangxi-Einzugsgebiet gehört danach zu Typ 6, dem Zentral China Typ, der allgemein einen subtropischen Charakter besitzt. Nach Lu ist die Region durch die 750 mm Isohyete im Norden und durch die 22°C Juli und 6°C Januar Isothermen gekennzeichnet. Die durchschnittlichen jährlichen Niederschlagswerte liegen bei 1000 mm bis 1500 mm, sind aber nicht gleichmäßig über das Jahr verteilt. Der so genannte „Pflaumenregen“ (chinesisch: Mai-yü) im Spätfrühling bis Frühsommer ist vorherrschend.

Bei der weiteren Unterteilung auf die Untertypen liegt das Xiangxi-Einzugsgebiet an den Grenzen der drei folgenden Untertypen:

- der südliche Teil des Einzugsgebietes gehört zu dem Untertyp „Südwestliches Hubei und Kweichow Hochland“(Cwaxw’),
- der westliche Teil zu dem Untertyp „Rotes Becken“(Cwaxw’),
- der nördliche und östliche Teil gehört dem Untertyp „Hanshui Tal“(Cwa) an.

Wie aus Cwa ersichtlich, ist das Klima warmgemäßigt und eine deutlich ausgeprägte Regenzeit im Sommer ist erkennbar. In dieser Regenzeit sind die Niederschläge bis zu zehn mal höher als im trockensten Wintermonat und die Temperaturen des wärmsten Monats liegen über 22°C . Für den Untertyp „Hanshui Tal“ gilt zudem, dass der kälteste Monat Temperaturen von über 6°C aufweist. Die Buchstaben „x“ und „w’“ beschreiben die Niederschlagsverhältnisse. Das „x“ gibt an, dass das Niederschlagsmaximum zur Zeit des Spätfrühlings bzw. im Frühsommer stattfindet, das „w’“ beschreibt eine Trockenzeit für den Winter und eine zweigeteilte Regenzeit (ohne Jahreszeitenangabe) mit zwei ausgeprägten Niederschlagsmaxima, die durch eine kurze Trockenzeit getrennt werden.

Tabelle 3.8 zeigt die im Xiangxi-Einzugsgebiet gelegenen Niederschlagsmessstationen

¹⁹ ARAKAWA 1969

mit ihren jeweiligen geographischen Koordinaten und den durchschnittlichen Jahresniederschlägen des Zeitraums der Messungen (ohne das Jahr 1975). Auf die drei in dieser Tabelle speziell markierten Stationen Zheng Jiaping, Shuiguoyuan und Xia-kou wird nachfolgend noch näher eingegangen (vgl. Abb. 3.4). Die direkt im Anschluss folgende Karte 3.5 zeigt die Lage der Stationen.

Für diese Diplomarbeit wurde ein Messreihe von 1970 bis einschließlich 1986 mit Tageswerten für die Niederschläge ausgewertet. Bedeutsam sind diese Daten allerdings weniger für die Beschreibung der klimatischen Verhältnisse des Xiangxi-Einzugsgebietes, als vielmehr für die Erstellung der Bodenerosivitätskarte, deren Werte in die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung eingehen.

Die Datenreihen weisen allerdings folgende Lücken auf:

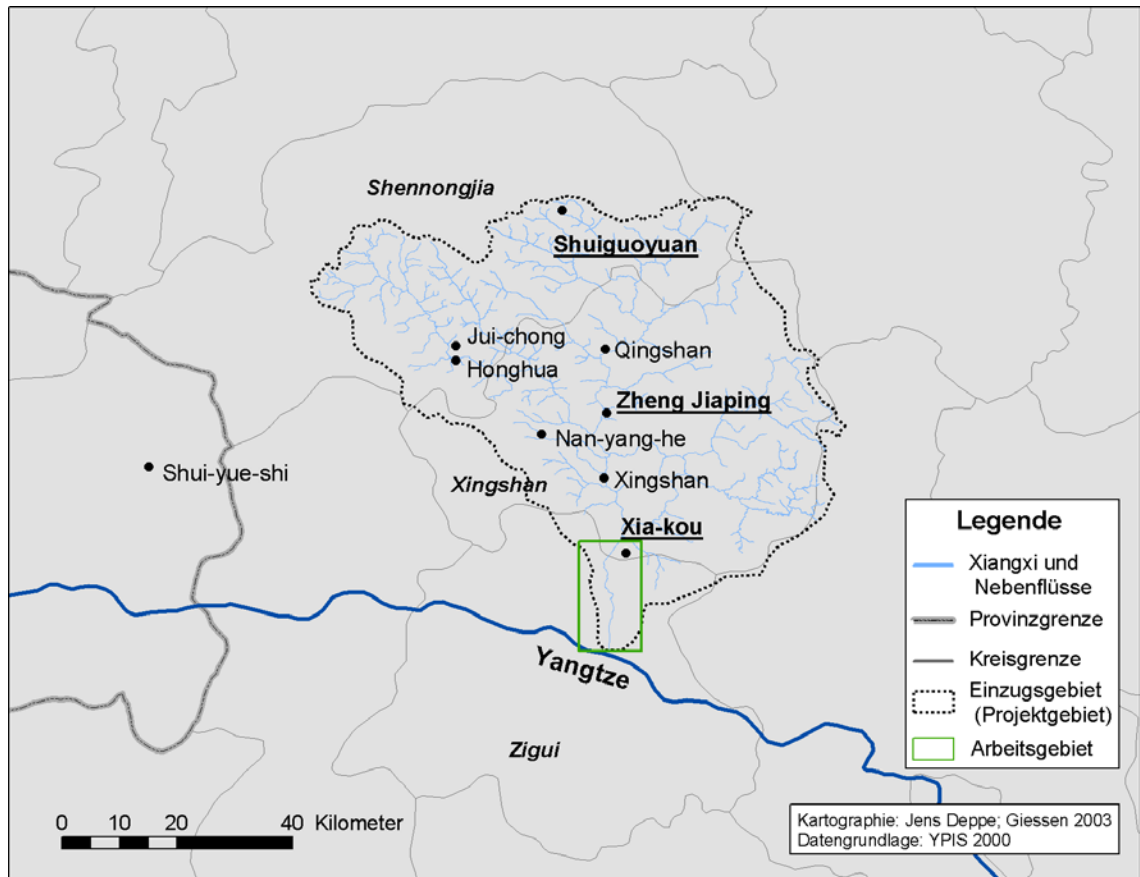
- für das Jahr 1975 sind keine Werte vorhanden;
- für die Stationen Honghua und Zheng Jiaping liegen für 1970 keine Werte vor;
- für die Stationen Qingshan und Jui-chong sind keine Messwerte für die Monate Januar bis einschließlich Juni desselben Jahres vorhanden;
- für das Jahr 1983 sind für die Station Qingshan keine Messwerte verfügbar;
- für das Jahr 1985 sind keine Werte für die Stationen Xia-kou und Shui-yue-shi vorhanden.

In der Tabelle 3.8 ist als letzter Eintrag die Station Shui-yue-shi vorhanden. Da diese Station nicht im Xiangxi-Einzugsgebiet liegt wurden ihre Niederschlagswerte nicht weiter berücksichtigt. Sie ist hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt. Von allen neun aufgeführten Stationen liegt nur die Station Xia-kou im Arbeitsgebiet.

Tabelle 3.8: Niederschlagsmessstationen im Projektgebiet

Name der Messstation	Geographische Länge	Geographische Breite	Durchschnittlicher Jahresniederschlag [mm]
Qingshan	110°45'	31°26'	974 mm
→ Zheng Jiaping	110°45'	31°20'	905 mm
→ Shuiguoyuan	110°41'	31°39'	1039 mm
Honghua	110°31'	31°25'	1125 mm
Jui-chong	110°31'	31°26'	1213 mm
Nan-yang-he	110°39'	31°18'	1109 mm
Xingshan (Stadt)	110°45'	31°14'	935 mm
→ Xia-kou	110°47'	31°07'	961 mm
Shui-yue-shi	110°00'	31°15'	1024 mm
Alle Stationen	n/a	n/a	1031 mm

Quelle für Tabelle 3.8: nicht veröffentlichte Projektinformationen



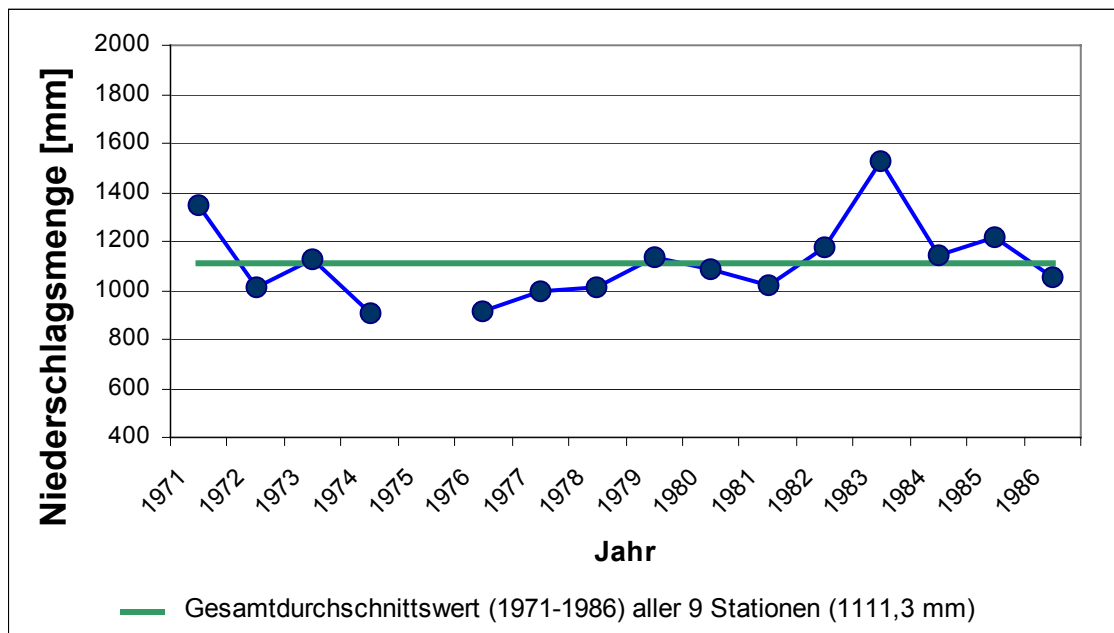
Karte 3.5: Lage der Niederschlagsmessstationen

Die drei markierten Stationen Shuiguoyuan, Zheng Jiaping und Xia-kou werden in den Abb. 3.5 bis Abb. 3.8 näher analysiert.

Die Abbildung 3.3 zeigt die in dem Zeitraum von 1971 bis 1986 (ohne das Jahr 1975) durchschnittlich gefallenen Jahresniederschläge aller in Tabelle 3.8 aufgelisteten Messstationen. Die durchgehende grüne Linie markiert den Mittelwert von 1111,3 mm für diesen Zeitraum. Bis auf die Jahre 1974, 1976 und 1977 liegt die Niederschlagsmenge stets über 1000 mm.

Dabei sind die Unterschiede der durchschnittlichen Jahresniederschläge zwischen den verschiedenen Stationen relativ gering. Nimmt man den Mittelwert aller Stationen von 1111,3 mm als 100%, so weichen die anderen Stationen nur maximal um +9,2% bzw. -19% vom Durchschnitt ab.

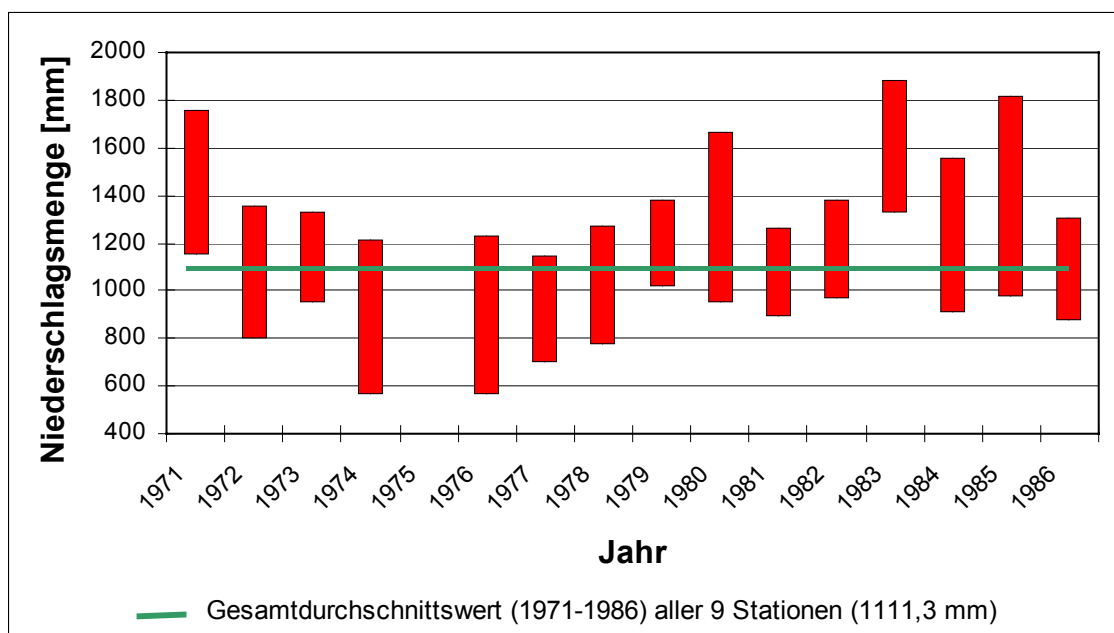
Abbildung 3.3: Niederschlagsmengen im Xiangxi-Einzugsgebiet 1971 – 1986 (ohne 1975)



Quelle: eigene Berechnungen auf Basis von neun Messstationen entspr. Tab. 3.8

Abbildung 3.4 Sie zeigt die inter-annuelle Variabilität der Niederschläge anhand der Minimal- und Maximalwerte der gemessenen Jahresniederschläge. Die Balken zeigen die jeweils höchsten und niedrigsten Jahreswerte der neun Messstationen in dem jeweiligen Jahr.

Abbildung 3.4: Niederschlagsvariabilität im Xiangxi-Einzugsgebiet (1971 – 1986 ohne 1975)



Quelle: eigene Berechnung auf Basis der in Tab. 3.8 gelisteten Messstationen

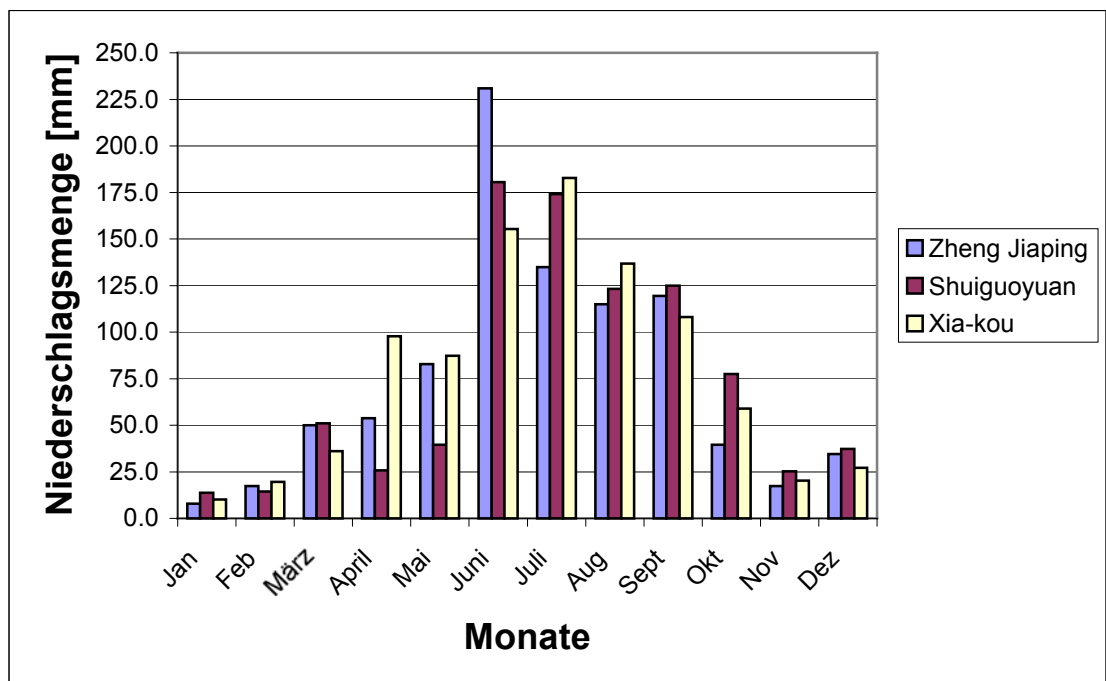
Das im Zeitraum 1971 – 1986 gemessene absolute Monatsmaximum an Niederschlägen beträgt 848,7 mm, gefallen im September 1985 an der Station Nanyang-he. Im Gegensatz dazu verzeichnen manche Stationen im Zeitraum von 1971 – 1986 in verschiedenen Monaten gar keine Niederschläge.

Die Abbildungen 3.5 und 3.6 zeigen die jährliche Verteilung der Niederschläge für drei ausgewählte Messstationen. Die Auswahl der Messstationen erfolgte anhand ihrer geographischen Lage. Die Station Xia-kou liegt im Süden des Xiangxi-Einzugsgebietes (und im Arbeitsgebiet), die Station Zheng Jiaping in der Mitte und die Station Shuiguoyuan im Norden des Einzugsgebietes.

Die Jahre 1986 und 1979 wurden als Beispiel für jeweils ein Jahr mit einem Niederschlagsmaximum und ein Jahr mit zwei Maxima ausgewählt. Die ausgewählten Jahre (1979 und 1986) veranschaulichen diese beiden Niederschlagsregime besonders gut.

Die Sichtung der Messreihe ergab, dass es in den Jahren 1986, 1985, 1982, 1978 und 1972 eine Regenzeit mit einem Maximum in den Monaten Juni bis Juli gab. Die Jahre 1984, 1983, 1981, 1980, 1979, 1977, 1976, 1974, 1973, 1971 und 1970 weisen eine Regenzeit mit zwei Maxima auf, das erste Maximum in den Monaten Mai bis Juni, das zweite Maximum in den Monaten August bis September. Für beide Regime sind Anfang und Ende der Regenzeit gleich: die Niederschläge werden höher ab ca. März/April und gehen ab ca. Oktober/November wieder stark zurück.

Abbildung 3.5: Monatliche Verteilung der Niederschläge für das Jahr 1986 für die Messstationen Zheng Jiaping, Shuiguoyuan und Xia-kou



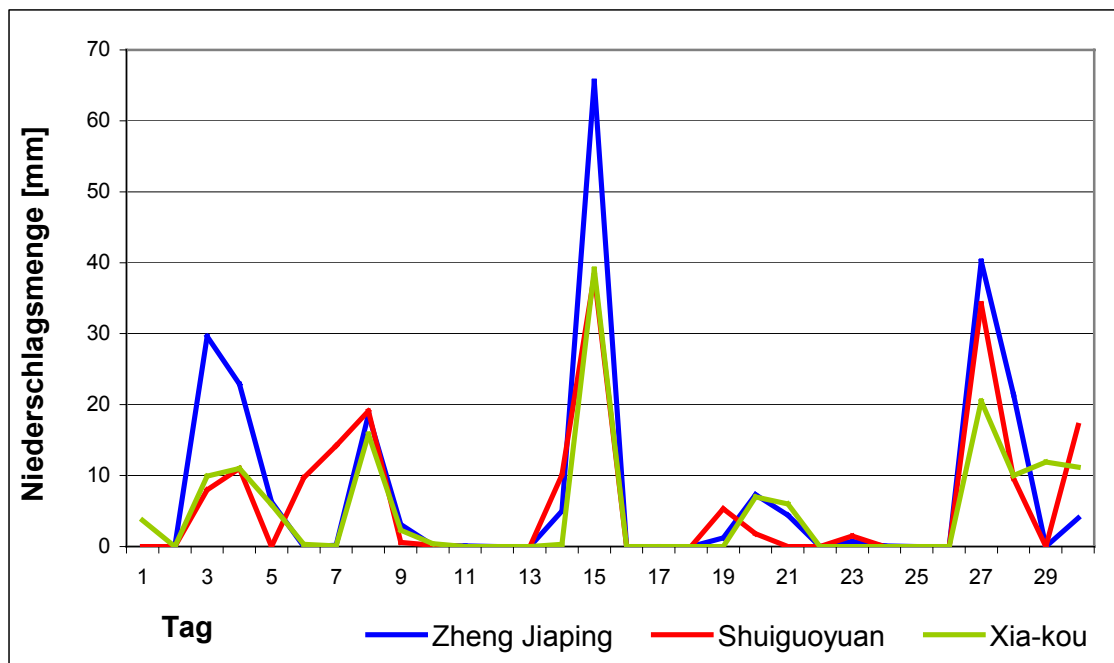
Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der Niederschlagsmesswerte 1971 - 1986

Das Diagramm dient als Beispiel für ein Jahr mit nur einem Niederschlagsmaximum. Deutlich erkennbar ist eine relative Niederschlagsarmut während der Wintermonate November bis einschließlich Februar. Im März beginnt die Regenzeit, die ihren Höhepunkt im Juni erreicht und bis Oktober mit zurückgehenden Niederschlagsmengen anhält.

Die Niederschlagssumme der beiden Monate Juni und Juli für die Station Zheng Jiaping beträgt 365 mm, was mehr als der Hälfte der Menge des durchschnittlichen Jahresniederschlags von Gießen (rund 600 mm) entspricht!

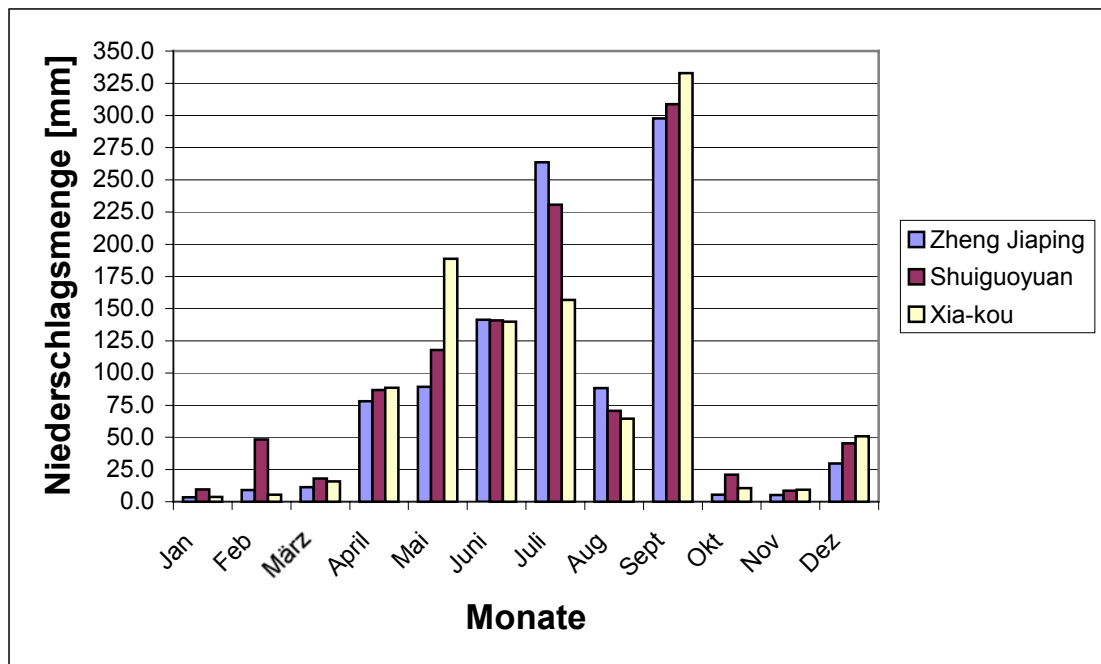
Wie in Abbildung 3.6 erkennbar ist, fallen die Niederschläge nicht gleichmäßig verteilt über den ganzen Monat, sondern der Großteil fällt an jeweils nur drei Tagen.

Abbildung 3.6: Niederschlagsverteilung für den Monat Juni 1986



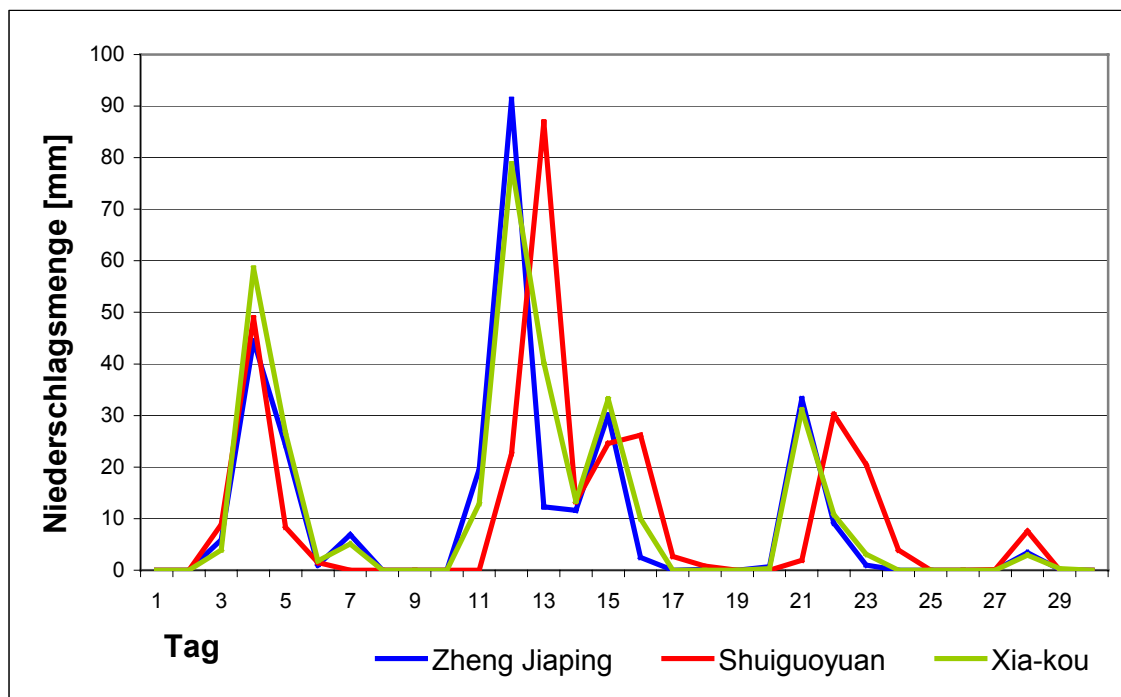
Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der Niederschlagsmesswerte 1971 - 1986

Abbildung 3.7 zeigt die Situation in einem typischen Jahr mit zwei Niederschlagsmaxima. Auch hier sind die Wintermonate relativ trocken. Die Regenzeit setzt wieder im April ein, erreicht ein erstes Maximum im Juli und ein zweites Niederschlagsmaximum im September. Die Niederschläge enden abrupt Ende September, so dass der Oktober schon zu den trockenen Wintermonaten gezählt werden muss.

Abbildung 3.7: Die monatliche Verteilung der Niederschläge für das Jahr 1979

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der Niederschlagsmesswerte 1971 - 1986

An der Station Xia-kou beträgt allein die Niederschlagsmenge im Monat September 333 mm. Dies entspricht mehr als der Hälfte der durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von Gießen (rund 600 mm).

Abbildung 3.8: Niederschlagsverteilung für den Monat September 1979

Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der Niederschlagsmesswerte 1971 - 1986

Abb. 3.8 zeigt, dass sich die Niederschläge auch im September 1979 auf nur vier Tage konzentrieren, mit Tagesmaxima von bis zu 90 mm.

Betrachtet man den Zeitpunkt der Aussaat und Ernte landwirtschaftlicher Produkte, wird die Dringlichkeit einer nachhaltigen Landnutzungsplanung deutlich. Tabelle 3.9 zeigt den Zeitpunkt der Aussaat und Ernte für die vier wichtigsten²⁰ landwirtschaftlichen Produkte.

Tabelle 3.9: Zeitpunkt von Aussaat und Ernte für vier ausgewählte landw. Anbauprodukte im Xiangxi-Einzugsgebiet

Anbauprodukt	Zeitpunkt Aussaat	Zeitpunkt Ernte
Reis	ersten 10 Tage im Mai	ersten 10 Tage im September
Winterweizen	ersten 10 Tage im Oktober	darauffolgendes Jahr Ende Mai bis Anfang Juni
Mais	letzten 10 Tage im April	letzten 10 Tage im September
Kartoffel	letzten 10 Tage im November	darauffolgendes Jahr Mitte August bis ersten 10 Tage im September

Quelle: HE et al. 2003

Hieraus wird deutlich, dass in der besonders gefährdeten Zeit, also in den ersten sechs bis acht Wochen nach der Aussaat, mit erheblichen Niederschlägen in der Form von Starkregen zu rechnen ist (vgl. Abb. 3.5 – 3.8).

Für die Temperaturen im Projektgebiet liegen keine ähnlich umfassenden Messreihen vor, wie sie für die Niederschläge zur Verfügung stehen. Für die Problemstellung dieser Diplomarbeit ist es jedoch ausreichend zu wissen, dass die Temperaturen im Prinzip eine ganzjährige landwirtschaftliche Nutzung ermöglichen. Im Gegensatz zu den Niederschlägen üben die Temperaturen nur einen indirekten Einfluss auf die Allgemeine Bodenabtragsgleichung aus. Dieser Einfluss äußert sich vor allem in der Dauer der Vegetationszeit und den möglichen Anbaukulturen.

Verschiedene Quellen (LU 1969, ZHAO 1986) weisen darauf hin, dass das nördlich an das Xiangxi-Einzugsgebiet anschließende Qinling-Gebirge als Klimascheide fungiert. So trennt dieses Gebirge gemäßigte und subtropische Klimate. Außerdem verhindert das Qinling-Gebirge, das während der Winterzeit kalte (bis -20°C) und trockene Luftmassen in den Süden vordringen können, so das zum Beispiel das Xiangxi-Einzugsgebiet meist frostfrei bleibt. Schneefall und Temperaturen unter 0°C finden sich hauptsächlich in höheren Lagen der Daba-Berge. Ursprung dieser kalten Luftmassen bzw. Antizyklone ist zum geringeren Teil die Arktis und zum größeren Teil die Mongolei. Den stärksten Einfluss auf ganz China besitzen sie während der Monate

²⁰ Quelle: HE et al. 2003

Dezember und Januar. Ab März und April geht der Einfluss ganz zurück und vor allem Südost- und Zentralchina gerät unter den Einfluss warmer, feuchter und unstabiler Luftmassen aus südwestlicher Richtung, die ihren Ursprung im Südchinesischen Meer und Indischen Ozean haben. Den stärksten Einfluss auf das Klima haben diese Luftmassen im Zeitraum Juli bis September, in dem auch die größte Menge an Niederschlägen auftritt. Dieser Zeitraum wird als „Sommermonsun“ oder „Südost - Monsun“ bezeichnet.

Aus den zuvor präsentierten Klimacharakteristika des Projekt- und Arbeitsgebietes lassen sich bereits einige wichtige allgemeine Schlüsse hinsichtlich der Erosivität (R-Faktor USLE) ziehen:

- die Niederschläge sind mit ca. 1100 mm pro Jahr fast doppelt so hoch wie z. B. in Gießen;
- ca. 80 - 90% dieser Niederschläge fallen in den sechs Sommermonaten April – September;
- innerhalb dieser sechs Monate wiederum ist der Großteil der Niederschläge auf nur wenige (3 – 5) Starkregentage pro Monat konzentriert, mit Tagesniederschlägen von teilweise > 100 mm;
- ca. 60 – 70% der Jahresniederschläge – also etwa 600 – 700 mm – fallen somit in nur etwa 25 – 30 Starkregen pro Jahr.

Zusammenfassend ist also für das Projekt- und Arbeitsgebiet von ganz erheblichen R-Werten auszugehen!

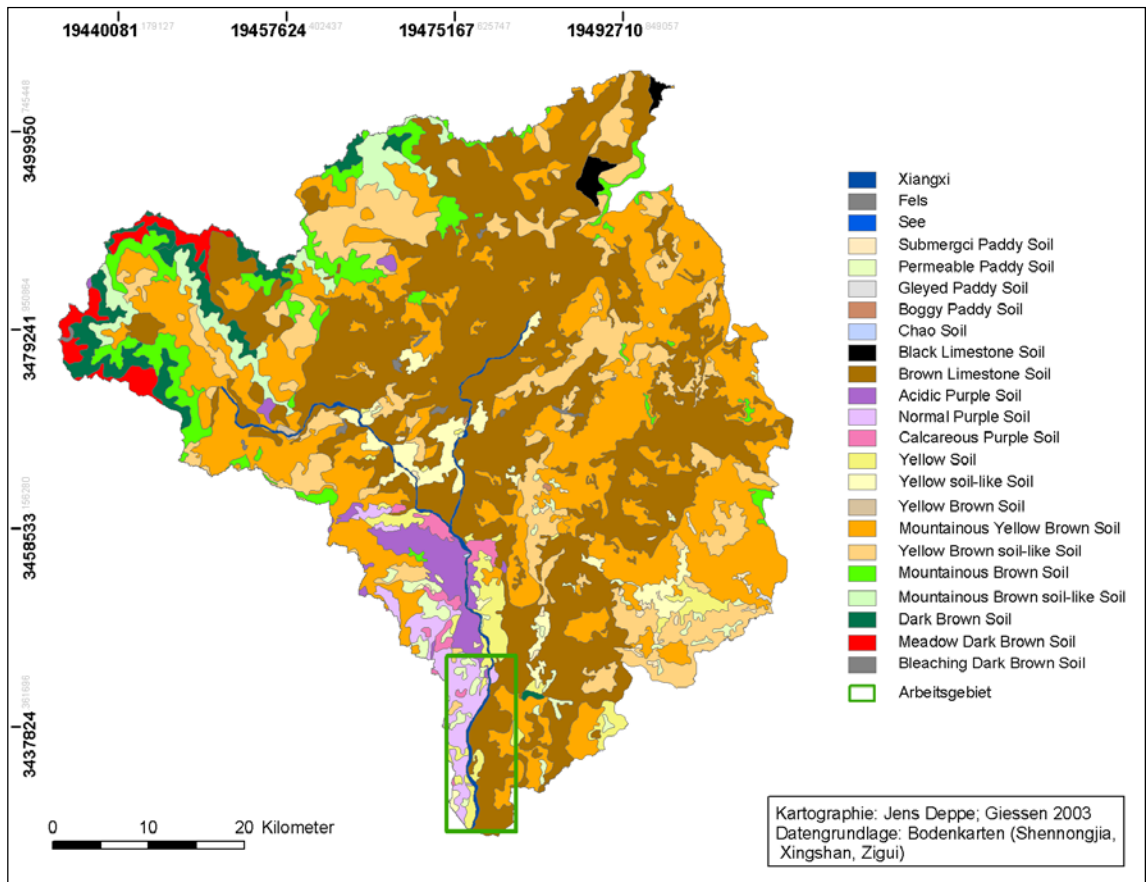
3.1.4 Böden

Die Daten über die Böden im Xiangxi-Einzugsgebiet stammen von den chinesischen Partnern des Projektes und sind in chinesischer Sprache, die Übersetzung ins Englische ist noch nicht beendet. Diese Daten beinhalten zum einen die Verbreitung der Böden anhand von Bodenkarten in Maßstäben von 1 : 160.000 bis 1 : 200.000 und zum anderen die Bodentypen und ihre Beschreibung.

Die Klassifikation der Bodentypen erfolgt nach der Chinesischen Bodenklassifikation (Chinese Soil Taxonomic Classification, CSTC) aus dem Jahre 1991. Sie ersetzt das bis dahin gebräuchliche traditionelle Klassifizierungssystem. Seit Einführung der neuen Klassifikation wird an einer Angleichung an die FAO-Klassifizierung (FAO 1988a) gearbeitet. Diese Arbeiten sind allerdings noch nicht abgeschlossen, so dass bislang nur eine ungefähre Zuordnung möglich ist.²¹ Die Vorstellung der Bodentypen erfolgt daher anhand der FAO-Nomenklatur (1988).

²¹ Details der Zuordnung vgl. ISSAS & ISRIC 1994, S. 15 ff

Die Karte 3.6 zeigt die Böden des Projektgebietes.



Karte 3.6: Bodenuntergruppen des Projektgebietes, englische Übersetzung der Namen aus chinesischer Nomenklatur

Die Namen der Bodentypen in der Legende entsprechen einer „1:1 Übersetzung“ aus der chinesischen Nomenklatur ins Englische, so wie sie von chinesischer Seite bereitgestellt wurden. Die Grundlage bilden drei Bodenkarten der Kreise Zigui (1 : 180.000), Xingshan (1 : 160.000) und Shennongjia (1 : 200.000) (s. Kap. 5.1.4).

Die Bodentypen dieser Bodenkarten und der entsprechenden Erläuterungen sind in vier hierarchisch unterteilten Ebenen eingeteilt. Die oberste Ebene sind die „Bodengruppen“, die zweiten Ebene bilden die „Bodenuntergruppen“. Danach folgen als dritte Ebene die „Bodenfamilien“ und als vierte Ebene die „Bodenserien“. Beispiel: die Bodengruppen 1, „Paddy Soil“, teilt sich in der zweiten Ebene auf verschiedene „Bodenuntergruppen“ wie z. B. 1.1 „Submergi Paddy Soil“, 1.2 „Permeable Paddy Soil“ und so weiter auf.

In der folgenden Tabelle 3.10 sind die Bodentypen auf der zweiten Ebene („Bodenuntergruppen“) des Projektgebietes, soweit sie in den Bodenkarten verzeichnet sind, nach absoluter Fläche (Grundfläche) und Flächenanteil sortiert dargestellt. Hierbei ist bereits eine Angleichung an die FAO-Nomenklatur von 1988 erfolgt.

Tabelle 3.10: Flächenanteile der Bodentypen auf der zweiten Ebene des Projektgebietes nach FAO-Nomenklatur

FAO-Nomenklatur	CSTC-Nomenklatur (englische Übersetzung)	Fläche [km ²]	Anteil an Gesamtfläche [%]
Haplic Luvisols	brown limestone soil	1206,3	38,0
Gleyic Cambisols	mountainous yellow brown soil	874,5	27,6
Eutric Cambisols	yellow brown soil like soil	394,4	12,4
Gleyic Cambisols	mountainous brown soil	133,7	4,2
Mollic Planosols	dark brown soil	81,1	2,6
Haplic Alisols	yellow soil like soil	70,6	2,2
Haplic Luvisols	mountainous brown soil like soil	68,3	2,1
Haplic – Ferric Alisols	yellow soil	67,8	2,1
Dystric Regosols	acidic purple soil	62,1	2,0
Eutric Regosols	normal purple soil	55,2	1,7
Mollic Cambisols	meadow dark brown soil	41,5	1,3
Dystric – Eutric Fluvisols	permeable paddy soil	40,1	1,3
Calcic Regosols	calcareous purple soil	20,7	0,7
Calcic Vertisols	black limestone soil	13,8	0,4
Eutric Gleysols	submergic paddy soil	9,9	0,3
Gleyic – Ferralic Cambisols	yellow brown soil	1,9	< 0,1
Mollic Planosols	bleaching dark brown soil	0,9	< 0,1
Eutric Gleysols	gleyed paddy soil	0,8	< 0,1
Eutric Gleysols	boggy paddy soil	0,7	< 0,1
Calcic Fluvisols	calcareous chao soil	0,1	< 0,1
Xiangxi, Seen und Fels	-	28,2	0,9
Gesamt:		3172,5	99,8

Quelle der Zahlenwerte: eigene Berechnungen auf Grundlage der Bodenkarten

Danach entfallen also über 80% des Projektgebietes auf nur vier Bodentypen!²²

In der obigen Tabelle sind sämtliche Siedlungsflächen nicht berücksichtigt, da Verkehrswege in den Bodenkarten gar nicht verzeichnet und Siedlungen nur durch Kreissymbole gekennzeichnet sind. Deshalb ist die absolute Fläche und der prozentuale Flächenanteil der jeweiligen Bodentypen real geringer. Des weiteren ist zu beachten: Aufgrund von Rundungsfehlern wird für den prozentualen Flächenanteil nur

²² In der obigen Tabelle sind Siedlungsflächen nicht berücksichtigt, da Verkehrswege in den Bodenkarten nicht verzeichnet und Siedlungen nur durch Punktsymbole gekennzeichnet sind. De facto ist sowohl die absolute Fläche als auch der prozentuale Flächenanteil der jeweiligen Bodentypen also etwas geringer. Die Abweichung zwischen der Summe der Flächen (99,8%) und 100% ergibt sich aus Rundungsfehlern.

99,8 % anstatt 100% erreicht.

Die o. a. Zahlenwerte für die Flächen beziehen sich auf die Situation vor der Fertigstellung der Staumauer des Drei-Schluchten-Staudamms, der entstehende Flächenverlust ist also noch nicht berücksichtigt.

Die ersten zehn Bodentypen (nach chinesischer Nomenklatur), die Haplic Luvisols, Gleyic Cambisols, Eutric Cambisols, Mollic Planosols, Haplic Alisols, Haplici – Ferric Alisols, Dystric und Eutric Regosols, stellen mit rund 95% Anteil an der gesamten Bodenfläche die wichtigsten Böden des Projektgebietes dar. Im folgenden werden diese Bodentypen kurz vorgestellt. Dabei folgt zuerst eine allgemeine Beschreibung der Eigenschaften auf Basis der (nach FAO-Nomenklatur) „Major soil groupings“ (Luvisol = major soil grouping) die dann durch die Differenzierung nach der Stufe der „soil units“ (Haplic Luvisol = soil unit) ergänzt wird.

Detaillierte Informationen zu den wichtigsten Böden des Projekt- und Arbeitsgebietes befinden sich im Anhang A.

- **Haplic Luvisols** („brown limestone soil“):

Die in der FAO-Nomenklatur als „Luvisols“ bezeichneten Bodentypen entsprechen annähernd den hiesigen Parabraunerden. Sie weisen eine akzeptable Wasserdurchlässigkeit auf, die jedoch durch Verdichtung im Bt-Horizont zu Wasserstau führen kann. Das Gefüge des A-Horizontes ist krümelig bis singulär, im B-Horizont polyedrisch bis prismatisch. Die Nährstoffvorräte und –verfügbarkeit ist gut bis hoch. Sie bilden beste Ackerböden. Haplic gibt an, dass sie der „soil unit“ der sonstigen Luvisols angehören.

- **Gleyic Cambisols** („mountainous yellow brown soil“ und „mountainous brown soil“):

Diese Böden sind relativ jung und mäßig verwittert, sie weisen keine Verfestigungen oder Verhärtungen im B-Horizont auf. Kennzeichnend ist der „cambic B horizon“. Sie sind meistens salzfrei, bilden bei Trockenheit keine Trockenrisse. Sie entstehen meist aus Regosols oder Leptosols durch Verbraunung und Verlehmung. Cambisols entsprechen z.T. den mitteleuropäischen Braunerden und sind in der Regel fruchtbar. Gleyic bedeutet, dass sie innerhalb von 100 cm unter Geländeoberfläche hydromorphe Merkmale aufweisen (die oberen 50 cm eines Profils sind frei von hydromorphen Merkmalen).

- **Eutric Cambisols** („yellow brown soil like soil“):

wie oben; anstelle der hydromorphen Merkmale der Gleyic Cambisols tritt bei den Eutric Cambisols als diagnostisches Kriterium eine Basensättigung von über 50% auf. Eutric Cambisols gehören zur „soil unit“ der sonstigen Cambisols.

- **Mollic Planosols** („dark brown soil“):

Planosols sind Böden in Senken oder Plateaulagen, die unter periodischen Einfluss

von Stauwasser geraten. Der „E horizon“ (Ae- oder Al-Horizont im deutschen) ist meist stark gebleicht und weist Rostflecken, zum Teil auch Konkretionen, auf. Der B-Horizont ist sehr tonreich und entsprechend wasserstauend. Planosols sind mit mitteleuropäischen Stagno- und Pseudogleys aus feinkörnigem Substrat vergleichbar. Auf Grund des Luftmangels während der Nassphasen sind diese Böden in der Regel für eine ackerbauliche Nutzung wenig geeignet. Mollic Planosols haben einen dunklen und an organischer Substanz sehr reichen Auflagehorizont.

- **Haplic Alisols** („yellow soil like soil“):

Saure Böden die den Acrisols ähnlich, jedoch weniger stark verwittert sind. Kennzeichen ist eine gelbe bis rote Färbung des Bt-Horizonts. Alisols sind reich an austauschbarem Aluminium. Für eine landwirtschaftliche Nutzung limitierende Faktoren können sein: Verdichtung im Bt-Horizont mit Neigung zum Wasserstau, Nährstoffarmut, Aluminiumtoxizität, Phosphor-Fixierung und eine Basensättigung geringer als 50%. Auf Stufe der „soil units“ gehören sie zu den sonstigen Alisols.

- **Haplic – Ferric Alisols** („yellow soil“):

Übergangsstufe zwischen Haplic und Ferric Alisols (ferric, abgeleitet von lateinisch: *ferrum*, Eisen). Sie entsprechen weitgehend den Haplic Alisols, es treten jedoch vermehrt *ferric properties* auf (Rostflecken, Eisen- und Mangankonkretionen).

- **Dystric und Eutric Regosols** („acidic/normal purple soil“):

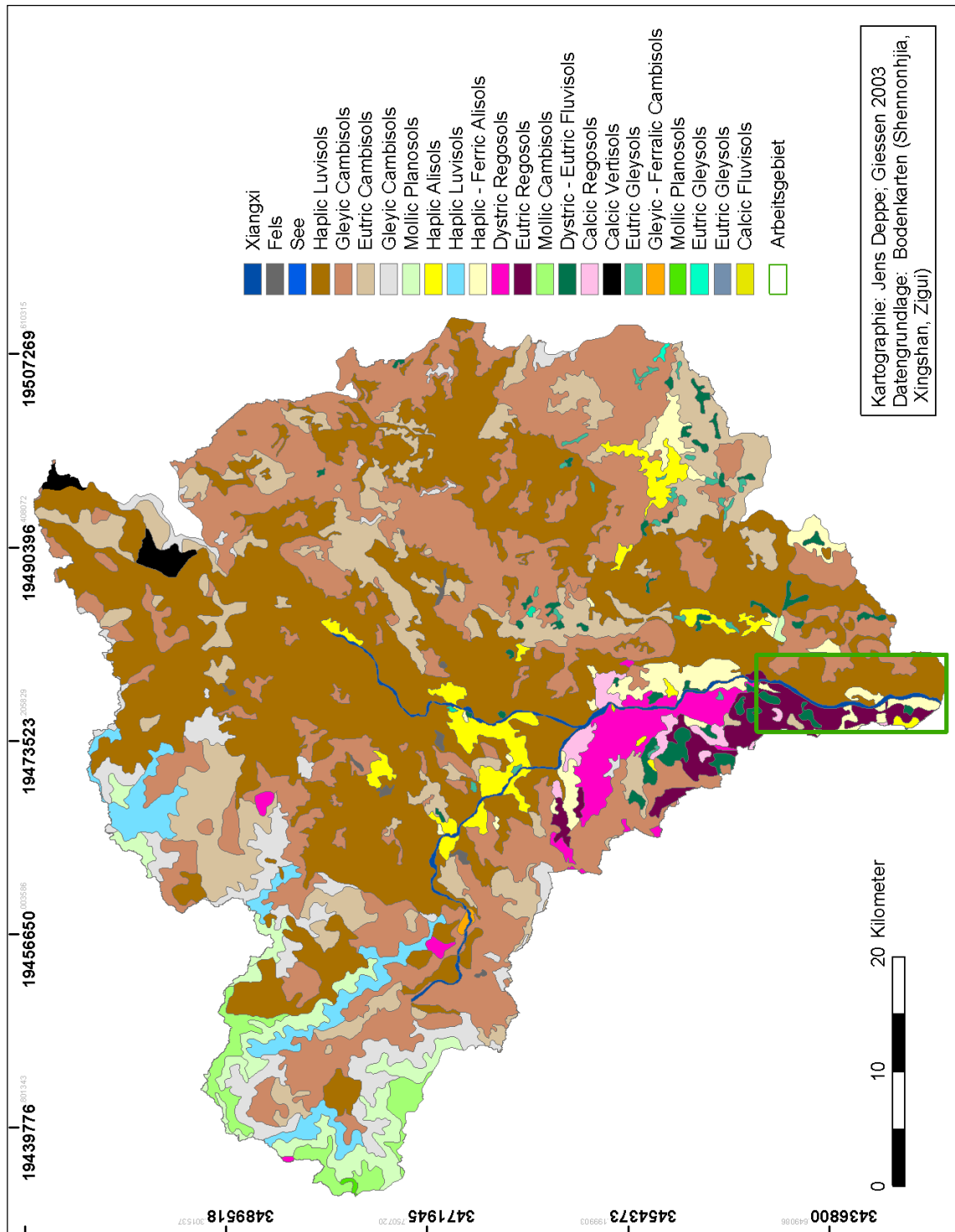
Junge und relativ gering entwickelte Böden. Die Bodenbildung erfolgt aus lockerem und mittel- bis feinkörnigem Substrat, wobei der A-Horizont humusarm ist oder eine geringere Basensättigung als 50% aufweist. Die Basensättigung ist bei den Dystric Regosols 20 bis 50 cm unter Geländeoberfläche kleiner 50%, bei den Eutric Regosols ist sie größer 50%. Auf Stufe der „soil units“ gehören alle sonstigen Regosols zu den Eutric Regosols.

Eine Einschätzung der Erosionsanfälligkeit anhand der bodenspezifischen Eigenschaften der hier aufgeführten Böden und der wichtigsten Böden des Arbeitsgebietes ist an dieser Stelle problematisch. In der Regel lassen sich für die jeweiligen Bodentypen allgemeine Aussagen über die Erosionsanfälligkeit treffen. Die Erosionsgefährdung ist beispielsweise bei Fluvisols eher gering, da diese Böden eigentlich nur in ebenen Lagen vorkommen. Aus Karte 3.9 wird aber ersichtlich, dass dieser Bodentyp in Hanglage auftritt. Da es sich hierbei nicht (nur) um einen „Übersetzungsfehler“ von der chinesischen in die FAO-Nomenklatur handelt wird dadurch deutlich, da auf der Karte 3.9 ein See eine Fläche an der Stelle einnimmt, an der laut topographischer Karte bzw. Höhenmodell keine ebene Fläche vorhanden ist.

Da der größte Teil des Projekt- und Arbeitsgebietes stark reliefiert ist, ist davon auszugehen, dass alle Böden erosionsgefährdet sind.

Geht man aber von der Annahme aus, dass alle Böden auf Flächen mit gleicher Hangneigung auftreten, lässt sich eine Einschätzung der Erosionsgefährdung treffen. Diese Einschätzung wird in Tabelle 3.12 zusammen mit den wichtigsten Böden des Arbeitsgebietes gezeigt.

Die Karte 3.7 auf der nachfolgenden Seite zeigt nochmals die Bodentypen des Xiangxi-Einzugsgebietes, diesmal nach FAO-Nomenklatur und nach Tabelle 3.10 sortiert. Teilweise werden Bodentypen der gleichen „soil unit“ in verschiedenen Farben dargestellt. Dies geschah auf Grund einer weiteren Unterscheidung auf Stufe der „soil series“, deren Übersetzung aus dem chinesischen Original gegenwärtig noch aussteht.



Die Tabelle 3.11 zeigt die Bodenverteilung für das Arbeitsgebiet vor dem Flächenverlust, der durch den Rückstau des Drei-Schluchten-Staudamms verursacht wird. Die Sortierung der Bodentypen erfolgt nach ihrer jeweiligen Verbreitung, der prozentuale Flächenanteil bezieht sich auf die Gesamtfläche des Arbeitsgebietes (133,3 km²). Auf die CSTC-Nomenklatur wird verzichtet. Die Fläche ist als Grundfläche angegeben.

Tabelle 3.11: Flächeninhalt der Bodentypen des Arbeitsgebietes nach FAO-Nomenklatur

FAO-Nomenklatur	Fläche [km ²]	Anteil an Gesamtfläche [%]
Haplic Luvisols (1)	49,1	36,9
Eutric Regosols (10)	35,7	26,8
Haplic – Ferric Alisols (8)	15,9	11,9
Gleyic Cambisols (2)	14,2	10,7
Dystric Fluvisols	4,9	3,7
Calcic Regosols	2,8	2,1
Haplic Alisols	2,4	1,8
Eutric Cambisols	1,0	0,8
Dystric Regosols	0,5	0,4
Eutric Fluvisols	0,2	0,1
Xiangxi/Yangtze, See	6,4	4,8

Quelle der Zahlenwerte: eigene Berechnungen auf Grundlage der Bodenkarten

Die Zahlen in Klammern geben den „Rang“ des Bodentyps entsprechend der jeweiligen Flächenanteile im gesamten Projektgebiet an. Neben den im gesamten Projektgebiet dominierenden Haplic Luvisols (1) und Gleyic Cambisols (2) haben im Arbeitsgebiet mit den Eutric Regosols (10) und Haplic – Ferric Alisols (8) zwei Böden erhebliche Flächenanteile, die im Projektgebiet insgesamt nur gering vertreten sind.

Zusammen bedecken diese vier Böden allein bereits 86% der Fläche des Arbeitsgebietes und sind somit für die Erodibilität im Arbeitsgebiet entscheidend.

Die wesentlichen Eigenschaften der im Arbeitsgebiet auftretenden und in der obigen Auflistung nicht beschriebenen Böden sind wie folgt:

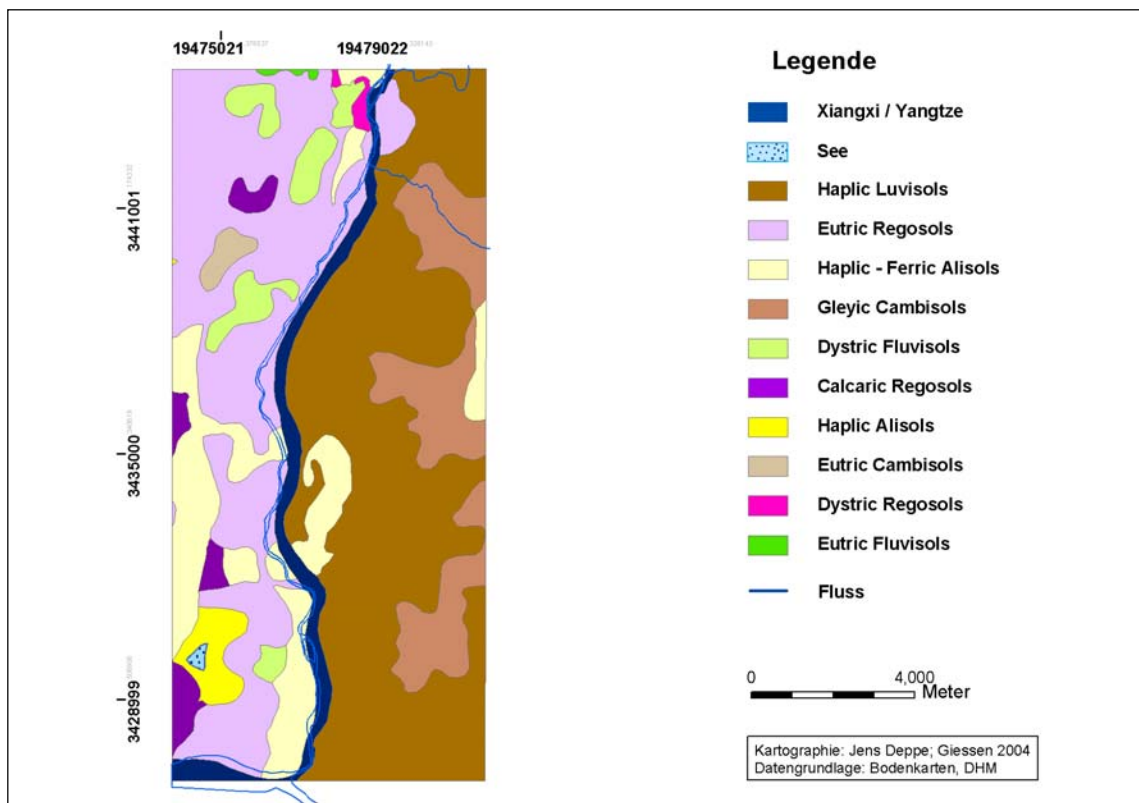
- **Haplic – Ferric Alisols** („yellow soil“):
Übergang von den Haplic Alisols zu den Ferric Alisols. Zu den oben bereits beschriebenen Eigenschaften der Haplic Alisols kommen „ferric“ Eigenschaften, es sind große Vorkommen von Eisenkonkretionen vorhanden.
- **Dystric – Eutric Fluvisols** („permeable paddy soil“):
Fluvisols entsprechen weitgehend den mitteleuropäischen Aueböden.

Ausgangssubstrat für die Bodenbildung sind fluviatile Sedimente. Durch (regelmäßige) Überflutung, fehlende Eindeichung vorrausgesetzt, wird frisches Sediment abgelagert. Dies führt zu einer Feinschichtung und zu einem variierenden Humusgehalt (abhängig vom Eintrag an organischer Substanz) des oberen Profils (bis zu 125 cm unter Geländeoberfläche). Weitere Eigenschaften sind schwach ausgebildete Strukturmerkmale, hydromorphe Merkmale und Tiefgründigkeit. Die sonstigen Eigenschaften sind sehr variabel, je nach Art der Sedimente und Wasserregime. Je nach Bodenfruchtbarkeit variieren auch die Nutzungsarten, häufig werden Fluvisols für Reisanbau genutzt. Auf Stufe der „soil units“ werden Fluvisols mit einer Basensättigung unter 50% den Dystric Fluvisols zugeordnet, ist die Basensättigung über 50% spricht man von Eutric Fluvisols. In der „soil unit“ Eutric Fluvisols sind sonstige Fluvisols zusammengefasst.

- **Calcic Regosols** („calcareous purple soil“):

Zu den oben beschriebenen allgemeinen Eigenschaften kommen bei den Calcic Regosols Kalkanreicherungen innerhalb 20 – 50 cm unter Geländeoberfläche.

Die Karte 3.8 zeigt als Detailausschnitt aus der Bodenkarte die Verbreitung der Bodentypen aus Tabelle 3.11 für das Arbeitsgebiet vor Fertigstellung der Staumauer des Drei-Schluchten-Staudamms, d.h. vor dem Flächenverlust durch Rückstau.



Karte 3.8: Bodenkarte des Arbeitsgebietes

Für die Anwendung der USLE ist die Nomenklatur nicht entscheidend, da die verwendeten Werte in Tabellen mitgeliefert wurden und nicht von einer bestimmten Nomenklatur abhängig sind.

Die Erosionsanfälligkeit der wichtigsten (d.h. die in diesem Kapitel beschriebenen) Böden des Projekt- und Arbeitsgebietes wird Anhand der Tabelle 3.12 beschrieben. Dabei werden die Bodentypen in zwei Anfälligkeitsstufen eingeteilt: geringere und höhere Erosionsgefährdung. Die Einschätzung orientiert sich dabei nur an dem berechneten durchschnittlichen K-Wert der jeweiligen Bodentypen und unter der Annahme, dass alle weiteren Faktoren, die sich erosionsfördernd bzw. erosionsvermindernd auswirken, für alle Bodentypen gleich sind. Die Berechnung des K-Wertes wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit eingehend beschrieben!

Die Bodentypen, deren durchschnittlicher K-Wert um 0,2 liegt, werden in Tabelle 3.12 als „geringer“ erosionsanfällig bezeichnet, und Bodentypen, deren durchschnittlicher K-Wert um 0,3 liegt, werden als „höher“ erosionsanfällig bezeichnet.²³ Der durchschnittliche K-Wert wurde als Kennzeichen für die Anfälligkeit gewählt, da für die jeweiligen Bodentypen unterschiedlich viele Profilaufnahmen vorhanden sind. Die K-Werte für die einzelnen Bodentypen sind normal verteilt, es sind keine „Ausreißer“ erkennbar.

Tabelle 3.12: Einschätzung der Erosionsgefährdung der wichtigsten Böden im Projekt- und Arbeitsgebiet

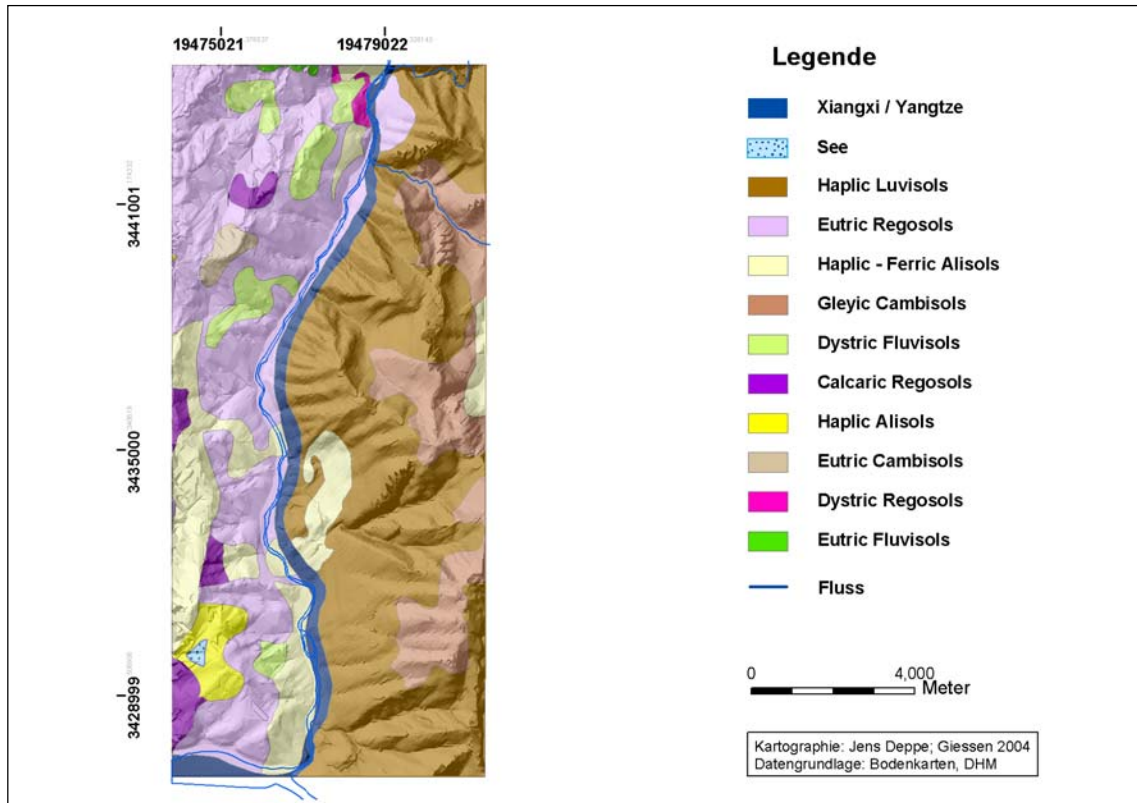
Bodentyp	Erosionsanfälligkeit
Haplic Alisols	geringer
Haplic – Ferric Alisols	geringer
Eutric Cambisols	geringer
Haplic Luvisols	höher
Gleyic Cambisols	höher
Dystric – Eutric Fluvisols	höher
Calcic Regosols	höher
Dystric Regosols	höher
Mollic Planosols	höher
Eutric Regosols	höher

Quelle: eigene Berechnung

Karte 3.9 zeigt abschließend eine dreidimensionale Darstellung der Böden des Xiangxi-Einzugsgebietes. Die Diskrepanz bzgl. des Verlaufs des Xiangxi, vor allem im mittleren Abschnitt des Arbeitsgebietes, ergab sich aus der Zusammenführung von Daten aus verschiedenen Quellen. Die flächenhafte Darstellung entstammt aus den

²³ Die K-Werte im US-Standard

Bodenkarten, die linienhafte Darstellung aus den topographischen Karten. Es ist davon auszugehen, dass der „Bodentyp“ Xiangxi/Yangtze etwas westlicher liegt als in Karte 3.9 dargestellt. Die Konsequenzen, die sich hieraus für die Berechnung des qualitativen Flächenverlust ergeben, werden in Kapitel 4.2 beschrieben.



Karte 3.9: Verteilung der Bodentypen im 3-D Geländemodell

Für die dreidimensionalen Ansicht der Bodenkarte des Arbeitsgebietes wurde ein „Hillshade“²⁴ verwendet. Hierdurch kommt es zu leichten Farbvariationen zwischen Karte und Legende.

Zusammenfassend lassen sich aus den zuvor präsentierten Bodeninformationen folgende Schlussfolgerungen hinsichtlich der Bodenerodibilität im Projekt- und Arbeitsgebiet ziehen (ohne Berücksichtigung der bereits berechneten K-Werte):

- 80% des Projektgebietes werden von nur vier Bodentypen dominiert: Haplic Luvisols, Gleyic Cambisols, Eutric Cambisols und Mollic Planosols. Die Cambisols und Planosols lassen eher geringere Werte für den K-Faktor erwarten, die Luvisols hingegen einen höheren Wert für den K-Faktor.
- Im Arbeitsgebiet decken die vier verbreitetsten Böden sogar 86% der Fläche ab. Haplic Luvisols (37%) und Gleyic Luvisols (11%) kommen auch hier sehr verbreitet vor, dazu Eutric Regosols (27%) und Haplic – Ferric Alisols (12%). Eutric Regosols und Haplic – Ferric Alisols lassen für den K-Faktor höhere Werte erwarten.

²⁴ Eine Funktion zur Oberflächenanalyse des „3D Analyst“, der ein Programmteil des GIS „ARC GIS 8.2“ ist.

3.1.5 Vegetation

Durch die intensive landwirtschaftliche Nutzung ist die primäre Vegetation der Provinz Hubei größtenteils verschwunden. Neben dem Hauptanbauprodukt Reis wurden Dauerkulturen (siehe Landnutzung) und sekundäre Laubwälder gepflanzt, hauptsächlich bestehend aus verschiedenen Bauholzarten und Obstbäumen, bei letzteren vornehmlich Orangenbäume.

Im Xiangxi-Einzugsgebiet, das neben anderen peripheren Gebieten landwirtschaftlich noch nicht intensiv erschlossen ist, ist die Situation noch (fast) „ursprünglich“. Eine Besonderheit des Einzugsgebietes ist dabei die große Waldbedeckung. Der südliche Kreis Zigui weist einen Bedeckungsgrad von rund 52% der gesamten Kreisfläche auf, im Kreis Xingshan sind es mit gut 60% der Gesamtfläche noch mehr. Auch der nördliche Kreis Shennongjia ist mit einem Bedeckungsgrad von 52% zur Hälfte mit Wald bedeckt.

In Tälern, die mittlerweile landwirtschaftlich genutzt werden, findet sich vor allem Reis. Gelegentlich wird auch Gemüse angebaut, wie zum Beispiel verschiedene Kohllarten. In den landwirtschaftlich genutzten Hanglagen findet man vor allem Orangenbäume sowie Tee- und Tabakplantagen.

Primäre Laub- und Nadelbäume findet man fast ausschließlich in Hanglagen: Eiche (*quercus glanea*), Buche (*fagus engleriana*, *fagus spp.*), Kastanie (*castanopsis spp.*), Birke (*betula luninifera*), Zapfennuss (*platycarya strobilacea*), Bambus (*cyclobalanopsis spp.*) und Stechpalme (*ilex chinensis*). Bei den hier wachsenden Laubbäumen handelt es sich um immergrüne Arten (ZHAO 1986).

An immergrünen Nadelbäumen sind im Xiangxi-Einzugsgebiet Tannen (*abies fargesii*) und Kiefern (*pinus armandii*) vorhanden.

Neben dem häufig vorkommendem Bambus gibt es verschiedene Gräser und Sträucher, deren Übersetzung der entsprechenden Namen aus dem chinesischen steht jedoch noch aus.

Die vertikale Zonierung der Vegetation kann nur anhand der Begehung des Gebietes während des kurzen Aufenthaltes im Xiangxi-Einzugsgebiet beschrieben werden. Ab einer Höhe von ca. 1800 m über dem Meeresspiegel ist ein deutlicher Rückgang der Laubbäume und eine Zunahme an Nadelbäumen erkennbar. Ab einer Höhe von ca. 2100 m wechselt die Vegetation von Nadelbäumen zu Bambus und Sträuchern, ab ca. 2600 m über dem Meeresspiegel beginnen alpine Vegetationsformen (Übersetzung steht noch aus).

3.2 Bevölkerung und Landnutzung

Die Charakterisierung der Bevölkerung und der Landnutzung konzentriert sich auf die Kreise Zigui und Xingshan. Shennongjia fällt aus der Betrachtung heraus, da aus dem ehemaligen Kreis der Walddistrikt Shennongjia wurde, dessen Hauptaufgabe der Naturschutz ist. Zwar wird auch hier in geringem Umfang Landwirtschaft betrieben, eine Ausdehnung oder Erhöhung landwirtschaftlich genutzter Flächen ist aber nicht vorgesehen.

3.2.1 Bevölkerung

Xingshan und Zigui sind eher dünn besiedelt. 1998 lag die Bevölkerungsdichte von Xingshan bei rund 81 Einwohnern pro km² und für Zigui betrug sie knapp 167 Einwohner pro km².²⁵ Zum Vergleich: die durchschnittliche Bevölkerungsdichte für Deutschland betrug 2003 231 Einwohner pro km².²⁶

Die Bevölkerungszahl ist seit 1949 nur geringfügig angestiegen. Die Tabelle 3.13 zeigt die Bevölkerungsentwicklung im vergangenen Jahrzehnt, das Jahr 1949 dient als Referenz. Seit 1949 hat sich die Bevölkerung beider Kreise fast verdoppelt, der Anstieg ist jedoch eher gering, wenn man bedenkt das es sich um einen Zeitraum von über 40 Jahren handelt.

Tabelle 3.13: Entwicklung der Einwohneranzahl im vergangenen Jahrzehnt mit 1949 für Xingshan und Zigui

Kreis	1949	1990	1991	1995	1996	1998
Xingshan	109.600	189.300	189.100	189.600	189.200	189.400
Zigui	242.320	423.032	422.803	417.716	410.520	404.800

Quelle: STATISTICAL YEARBOOK ZIGUI 1999, STATISTICAL YEARBOOK XINGSHAN 1999

In Xingshan hat die Bevölkerung zwischen 1949 und 1990 um 70% zugenommen. Seit 1990 ist die Anzahl der Einwohner relativ konstant. Einen relativ starken Zuwachs gab es noch einmal von 1998 auf 1999, die Bevölkerungszahl stieg um 9007 auf 198.407 an.²⁷ In den verwendeten Daten aus der YPIS-Datenbank markiert diese Zahl die höchste Bevölkerungsanzahl für Xingshan.

In Zigui stieg die Bevölkerung zwischen 1949 und 1990 um 74%. Seit 1990 nimmt die

²⁵ Quelle: eigene Berechnung auf Grundlage der YPIS-Datenbank

²⁶ Quelle: DESTATIS 2003

²⁷ für das Jahr 1999 liegen für Zigui keine Daten vor, deshalb wurde es in der Tabelle 3.15 nicht aufgeführt

Bevölkerung aber konstant ab auf zuletzt (1998) 404.800 (Quelle: YPIS-Datenbank).

Hauptgrund für die Abnahme der Bevölkerung in Zigui und die zeitgleiche Zunahme in Xingshan sind die durch den Drei-Schluchten-Staudamm bedingten Umsiedlungsmaßnahmen.

Betrachtet man die Aufteilung der Bevölkerung beider Kreise in Agrar- und Nichtagrarbevölkerung, wird deutlich, dass die Landwirtschaft 1998 noch immer dominierend war. Zwar nimmt im langjährigen Mittel der Anteil des Bruttoinlandproduktes des primären Sektors ab, während der Anteil des tertiären Sektors zunimmt, wie im späteren Verlauf dieser Arbeit noch gezeigt wird, jedoch ist der überwiegende Teil der Bevölkerung noch immer von der Landwirtschaft abhängig. Die Aufteilung in Agrar- und Nichtagrarbevölkerung und die Entwicklung der Aufteilung werden aus den beiden folgenden Tabellen 3.14 und 3.15 deutlich.

Tabelle 3.14: Absolute und prozentuale Aufteilung der Bevölkerung Xingshans in Agrar- und Nichtagrarbevölkerung

	1949	1990	1991	1995	1996	1998
Agrarbevölkerung	105.700	164.800	164.600	154.700	152.500	149.000
	96%	87%	87%	81%	80%	78%
Nichtagrarbevölkerung	3.900	24.500	24.500	34.900	48.001	40.400
	4%	13%	13%	19%	20%	22%

Quelle: YPIS-Datenbank

Tabelle 3.15: Absolute und prozentuale Aufteilung der Bevölkerung Ziguis in Agrar- und Nichtagrarbevölkerung

	1949	1990	1991	1995	1996	1998
Agrarbevölkerung	231.300	387.575	387.257	373.138	362.519	349.164
	95%	91%	91%	89%	88%	86%
Nichtagrarbevölkerung	11.020	35.457	35.546	44.578	48.001	55.674
	5%	9%	9%	11%	12%	14%

Quelle: YPIS-Datenbank

In der Mitte des letzten Jahrhunderts lag der Anteil der Agrarbevölkerung an der Gesamtbevölkerung in beiden Kreisen bei weit über 90%. Von 1949 bis 1991 nahm der Anteil der Agrarbevölkerung in Xingshan um 9% ab. Da es sich aber um einen Zeitraum von gut 40 Jahren handelt, kann man nicht von einem deutlichen Rückgang sprechen. Erst im Zeitraum 1991 bis 1995 setzt eine relativ starke (im Vergleich zu den davor liegenden Jahren) Abnahme um 5% ein, jedoch waren 1998 noch immer knapp 80% der Bevölkerung in der Landwirtschaft tätig.

In Zigui ist ebenfalls ein Trend zur Abnahme der Agrarbevölkerung erkennbar, jedoch ist diese Abnahme etwas weniger stark als in Xingshan.

Die Hauptgründe für die Abnahme der Agrarbevölkerung sind zum einen ein allgemeiner Trend zur Urbanisierung, gewisse Landfluchttendenzen bei den jungen Bevölkerungsschichten, vor allem aber die durch den Drei-Schluchten-Staudamm verursachten Umsiedlungsmaßnahmen. In erster Linie betroffen sind hiervon die Bauern, da durch den Rückstau teile ihrer landwirtschaftliche Nutzflächen verloren gehen.

3.2.2 Landnutzung

Für eine großflächige landwirtschaftliche Nutzung ist das Xiangxi-Einzugsgebiet nicht geeignet. Hauptgrund ist das zuvor beschriebenen steile Relief. Davon allerdings unabhängig fehlen auch größere industrielle Anlagen. Des weiteren werden im Xiangxi-Einzugsgebiet keine Bodenschätze abgebaut.

Die Tabelle 3.16 zeigt für die Kreise Xingshan und Zigui die Verteilung der jeweiligen gesamten Kreisfläche auf die Kategorien „Anbaufähige Flächen“, „Wald“, „Versiegelte Flächen“, „Wasserflächen“ und „Gestein/Abraum“.

Tabelle 3.16: Flächenverteilung auf verschiedene Kategorien der Kreise Xingshan und Zigui in Prozent der jeweiligen gesamten Kreisfläche

Kreis	Anbaufähige Flächen	Wald	Versiegelte Flächen	Wasserflächen	Gestein/Abraum
Xingshan	9,3%	61%	2,4%	1,6%	25,7%
Zigui	17,3%	51,6%	4,2%	2,9%	24%

Quelle: Scholten et al. o. J.

Die Bedeutung der einzelnen Kategorien ist relativ eindeutig. Zu den „Anbaufähigen Flächen“ zählen alle Flächen, auf denen landwirtschaftliche Nutzung stattfindet oder möglich wäre. Dabei wird die jeweilige Hangneigung ignoriert.²⁸ Die Kategorie „Wald“ beinhaltet neben Primärwald auch forstwirtschaftlich genutzte Waldflächen, Busch- und Strauchwald und dergleichen. „Versiegelte Flächen“ umfasst alle Siedlungsflächen, Verkehrswege und sonstige bebaute Flächen. In der Kategorie „Wasserflächen“ sind alle Fließ- und Stehgewässer zusammengefasst, beispielsweise auch Fischteiche. Die letzte Kategorie „Gestein/Abraum“ bedarf einer Interpretation. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass rund ein Viertel der Gesamtfläche oberflächlich anstehendes

²⁸ Vgl.: HE et al. 2003

oder nacktes Gestein ist, zu mal aus den Bodenkarten ersichtlich wird, dass weniger als 1% der Gesamtfläche des Xiangxi-Einzugsgebietes nacktes Gestein ist (siehe Tabelle 3.10). Solche Verhältnisse (25% anstehendes Gestein) finden sich sonst nur in arktischen oder alpinen Gebieten, oder aber in Wüsten. Anzunehmen ist daher, dass zu diesen Flächen auch beispielsweise sehr flachgründige Böden gehören, wie z. B. Ranker. Dies ergebe einen Sinn, denn solche Flächen mit flachgründigen Böden sind in den Bodenkarten eindeutig als bestimmter Bodentyp verzeichnet. Sie sind aber für eine Landwirtschaftliche Nutzung nicht geeignet und wurden deshalb offenbar der Kategorie Gestein/Abraum zugeordnet.

Die wichtigsten Kulturpflanzen im Xiangxi-Einzugsgebiet sind Reis, Weizen, Raps, Kartoffeln, Mais, Sojabohnen, Erdnüsse, Orangen und Tee. Die landwirtschaftliche Nutzung wird von den chinesischen Projektpartnern in zwei Klassen unterteilt: in Reisfelder und „Hochland“. Zu den Reisfelder zählen sie Anbauflächen in ebenen Lagen, zu „Hochland“ die Anbauflächen auf mehr oder weniger stark geneigten Hängen.

Reisfelder findet man daher hauptsächlich in tieferen Lagen und in Tälern. Dort wird Reis in Fruchtfolge mit Weizen und Raps angebaut. Die Täler der tieferen Regionen erlauben zwei Ernten pro Jahr, während in den höheren Gebieten nur eine Ernte möglich ist. Die Produktion von Reis, Weizen und Raps dient in erster Linie der Eigenversorgung.

Die übrigen Gebiete, Hänge und höhere Lagen, zählen zur zweiten Klasse: „Hochland“. Dort wird hauptsächlich Tee angebaut, gefolgt von Orangenbäumen. In kleinerem Umfang erfolgt die Produktion von Kartoffeln, Mais, Sojabohnen und Erdnüssen. Im Gegensatz zum Reis werden sie als cash crops angebaut, davon ist Tee das wichtigste Marktprodukt. Pro Jahr wird nur eine Ernte erzielt.

Das Bild 3.2 zeigt eine typischen Landnutzungsszene am Unterlauf des Xiangxi. Das helle, olivgrüne Band, das sich vom linken unteren Bildrand zur Bildmitte erstreckt, ist das Flussbett des Xiangxi. Bei den bestellten Feldern im Tal handelt es sich um Weizenfelder. Die Büsche in der rechten unteren Bildecke sind Teesträucher für Eigenbedarf.



Bild 3.2: Landwirtschaft am Unterlauf des Xiangxi; Quelle: eigene Aufnahme April 2001

Für die Reisfelder werden keine großen bzw. schweren Landmaschinen eingesetzt. Die aktuellen Anbaumethoden orientieren sich noch immer eher an traditionellen Techniken. Da die Felder klein sind und der Anbau in erster Linie der Eigenversorgung dient, ist ein Einsatz von Landmaschinen nicht möglich bzw. sinnvoll. Handtraktoren sind meist die einzige maschinelle Unterstützung. Die Aufzucht, Pflege und Ernte der Tee- und Orangenplantagen erfolgt seit je her per Hand.

Über Bodenkonservierungsmaßnahmen liegen keine Daten vor. Während des Aufenthaltes im Projektgebiet wurde allerdings deutlich, dass sich erosionsschützende bzw. erosionseinschränkende Anbaumethoden an einigen wenigen Stellen auf hangparalleles Pflügen beschränken. Auf dem überwiegenden Teil der landwirtschaftlichen Nutzflächen fehlen jedoch erosionsschützende oder –einschränkende Anbaumethoden.

In der folgenden Tabelle 3.17 ist der durchschnittliche Zeitraum für die Aussaat und Ernte verschiedener Kulturpflanzen angegeben. Die „Tiefen Lagen“ beinhalten alle Flächen bis 600 m über Meeresspiegel, „Mittlere Lagen“ 600 m bis 1200 m über Meeresspiegel und die „Hohen Lagen“ beinhalten die Flächen über 1200 m über Meeresspiegel.

Tabelle 3.17: Durchschnittlicher Zeitraum der Aussaat und Ernte ausgewählter Kulturpflanzen im Xiangxi-Einzugsgebiet

	Tiefe Lagen		Mittlere Lagen		Hohe Lagen	
	Zeitraum der Aussaat	Zeitraum der Ernte	Zeitraum der Aussaat	Zeitraum der Ernte	Zeitraum der Aussaat	Zeitraum der Ernte
Reis	Ende April Aussaat, Anfang Mai Verpflanzen	Ende August Aussaat, Mitte September Verpflanzen	20 – 25 Tage später als in den tiefen Lagen		Kein Reisanbau	
Weizen	Ende November	Anfang bis Mitte Mai	Ende Oktober	Ende Mai	Anfang bis Mitte Oktober	Anfang bis Mitte Juni
Mais	5. bis 10. April	Ende August bis Anfang September	5. bis 10. April	Anfang bis Mitte September	5. bis 10. April	Mitte Oktober
Kartoffeln	Ende Dezember	Anfang bis Mitte April	Ende Dezember	Ende Mai	Ende Dezember bis Anfang Januar	Mitte bis Ende Juni

Quelle: nicht veröffentlichte Projektdaten

Viehzucht wird im Xiangxi-Einzugsgebiet zwar auch betrieben, wie der Reisanbau jedoch ebenfalls nur zur Deckung des Eigenbedarfs. Es handelt sich dabei hauptsächlich um Schweine- und Geflügelhaltung.

Die Bewirtschaftung des Arbeitsgebietes erfolgt überwiegend in zwei Fruchtfolgesystemen: eine Kartoffel/Maisrotation zum einen und eine Weizen/Reisrotation zum anderen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Landwirtschaft noch immer von großer Bedeutung in den beiden Kreisen ist. Es ist daher davon auszugehen, dass Flächen in Hanglagen in landwirtschaftliche Nutzflächen umgewandelt und mit Kulturpflanzen bestellt werden, die hohe Werte für den C-Faktor erwarten lassen.

4 Auswirkungen des Drei-Schluchten-Staudamms auf das Arbeitsgebiet

Im ersten Teil dieses Kapitels werden die Auswirkungen des Staudamms auf die Bevölkerung im Drei-Schluchten-Gebiet kurz beschrieben. Dabei wird ein kurzer Überblick über die Auswirkungen des Drei-Schluchten-Projektes, die Umsiedlungsmaßnahmen und die damit verbundenen Probleme und die entstandenen Kosten gegeben. Der zweite Teil dieses Kapitels behandelt den Flächenverlust für das Arbeitsgebiet, der durch den Rückstau erfolgt.

4.1 Umsiedlungsmaßnahmen, Kosten und Probleme

4.1.1 Auswirkungen, Umsiedlungsmaßnahmen und Kosten

Bei einem Staudammprojekt des Ausmaßes wie dem Drei-Schluchten-Staudamm liegt es auf der Hand, dass große Bevölkerungsteile auf die eine oder andere Art betroffen werden. Die Spanne reicht dabei von Bauern, die ihre Felder aufgeben müssen bis hin zu ganzen Städten die geräumt und verlegt wurden.

Neben den in China bereits vorher bestehenden Gesetzen, die bei großen Bauvorhaben wie Staudammprojekten den Landerwerb, Umsiedlungsmaßnahmen und Zerstörung von Siedlungen und Infrastruktur regeln, wurde im Rahmen des Drei-Schluchten-Staudamms eine Kommission gegründet, die sich ausschließlich mit diesen Maßnahmen beschäftigt und für die Entschädigungen der Betroffenen zu ständig ist. Diese Kommission untersteht der in Kap.2 bereits genannten „Staatsratskommission zur Konstruktion des Drei-Schluchten-Projektes (TGPPC)“.

Betroffen sind die beiden Provinzen Hubei und Chongqing.²⁹ Von offizieller Seite gibt es bislang für das gesamte Staugebiet keine einheitlichen Zahlen der umzusiedelnden Bevölkerung. Offizielle Berichte sprechen von etwa 1,13 bis 1,2 Millionen Menschen (CWRC 2000), die durch die Auswirkung des Drei-Schluchten-Staudamms umzusiedeln sind. Als Vergleich: Ende 2001 hatte die Stadt München eine Bevölkerung von rund 1,4 Millionen (Quelle: MUENCHEN 2001).

Im Rahmen dieser Umsiedlungen mussten neue Siedlungen (inkl. Fabriken, Wohnhäuser, öffentliche Gebäude, etc.), Strassen, Brücken geschaffen und die bestehende Wasser- und Energieversorgung verlegt werden.

Die Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über Auswirkungen des Drei-Schluchten-

²⁹ Chongqing gehörte administrativ früher zu der Provinz Sizhuan, wurde im Rahmen des Drei-Schluchten-Staudammprojekt aus der Provinz ausgegliedert und erhielt den Status einer eigenständigen Provinz.

Staudamms auf die im Stauseebereich vorhandenen Siedlungen und die vorhandene Infrastruktur.

Tabelle 4.1: Auswirkungen des Drei-Schluchten-Staudamms auf den Stauseebereich

Objekt	Anzahl/Menge
Kreise	20
größere Städte	Fuling, Wanxian, teilweise Chongqing
Dörfer und Siedlungen	114
Bevölkerung	1,2 Millionen (offizielle Zahl)
Klein- und mittelständige Betriebe	1.599
Großunternehmen und Bergbaubetriebe	657
Wohnflächen	34.731 m ²
kultiviertes Land	34.000 ha
Strassen	1.137 km
Schulen	rund 600

Quelle: QI 2000

Von den in Tab. 4.1 aufgeführten Siedlungen liegen lediglich zwei in den Kreisen des Projektgebietes. Zum einen handelt es sich um Zigui (-stadt), das zwar nicht im Xiangxi-Einzugsgebiet liegt bzw. lag, aber dennoch an dieser Stelle kurz erwähnt werden soll. Ursprünglich am Ufer des Yangtze gelegen, wurde es bis Ende der 90er Jahre komplett geräumt und dem Erdboden gleich gemacht. Es wurde unter dem Namen „New Zigui“ in der Nähe der Mündung des Xiangxi in den Yangtze oberhalb der Staumarkte wieder aufgebaut. Für viele Bewohner des ehemaligen Ziguis sowie für Bewohner in anderen betroffenen Gebieten sind diese Umsiedlungen durchaus positiv, da viele von ihnen dadurch zum ersten mal fließend Wasser, sanitäre Anlagen und Elektrizität in ihren Wohnungen bekommen, von den komplett neu gebauten Wohnungen ganz abgesehen.

Die ebenfalls betroffene Siedlung ist Xingshan-Stadt (auch Gaoyang genannt). Im Gegensatz zu Zigui ist die nur teilweise betroffen. Xingshan wurde als alte Kreishauptstadt aufgegeben und der Sitz der Kreisverwaltung nach Gufu verlegt. Einige Stadtteile wurden auf Grund des Rückstaus geräumt und zerstört. Die bislang aktuellsten offiziellen Zahlen geben für Xingshan-Stadt für das Jahr 1993 eine Gesamtbevölkerung von 33.242 an (Statistisches Jahrbuch des Kreises Xingshan, 1999). Insgesamt waren davon 6.600 Einwohner betroffen, davon waren 5.900 Stadtbevölkerung und nur 700 Landbevölkerung.

Von den in den Kreisen Xingshan und Zigui Ende 1991 insgesamt lebenden 611.903

Menschen mussten nach damaligen Untersuchungen 87.870 umgesiedelt werden, also war rund 14% der Bevölkerung von den Umsiedlungsmaßnahmen betroffen.³⁰

Tabelle 4.2 zeigt für Xingshan und Zigui welchen Anteil Agrar- und Nichtagrarbevölkerung jeweils haben. Tabelle 4.3 zeigt die Flächen, die durch den Rückstau betroffen sind. Zu beachten ist, dass es sich bei den Werten beider Tabellen um Kreisdaten handelt, also um Daten, die das Xiangxi-Einzugsgebiet betreffen.

Tabelle 4.2: Umzusiedelnde Bevölkerung der Kreise Xingshan und Zigui

Kreis	Bevölkerung		
	Gesamt	Nichtagrarbev.	Agrarbev.
Xingshan	20915	17154	3761
Zigui	66955	25458	41497
Gesamt	87870	42612	45258

Quelle: THREEGORGESPROBE 2002

Tabelle 4.3: Verlust von landwirtschaftlichen Nutzflächen der Kreise Xingshan und Zigui

Kreis	Ackerflächen in ha				Plantagen in ha		
	Gesamt	Getreide	Reis	Gemüse	Gesamt	Obst	Sonstige
Xingshan	93	15,4	54,7	22,9	178,1	22,9	0,2
Zigui	1059,4	328,3	713,3	17,8	1391,9	1390,2	1,7
Gesamt	1152,4	343,7	768	40,7	1570	1413,1	1,9

Quelle: THREEGORGESPROBE 2002

Nach offiziellen Angaben beliefen sich die Ausgaben für die Umsiedlungsmaßnahmen bis Februar 2002 auf rund 3,8 Mrd. Euro, für das Jahr 2002 waren zusätzliche Mittel in Höhe von rund 0,9 Mrd. Euro bereitgestellt worden (PEOPLEDAILY 2002).

4.1.2 Probleme

Auf Grund der Komplexität der Probleme soll an dieser Stelle nur ein allgemeiner Überblick über mögliche Probleme gegeben werden. Mit Sicherheit das größte Problem stellt die große Anzahl umzusiedelnder Menschen dar. Für die rund 1,2 Millionen Betroffenen (gesamtes Stauseegebiet) müssen nicht nur neue Häuser geschaffen werden, auch die Infrastruktur muss komplett neu geschaffen werden. Darüber hinaus müssen für die Bauern Ausweichflächen für die überfluteten Äcker

³⁰ aktuellere Zahlen der umzusiedelnden Menschen liegen auf Kreisebene nicht vor

ausgewiesen werden.

Bei einer solch hohen Anzahl von (Zwangs-)Umsiedlern bleiben soziale Konflikte nicht aus. Nachbarschafts- und Dorfstrukturen werden häufig auseinander gerissen, was vor allem für ältere Menschen problematisch ist. Wie groß die Verbundenheit mit der jeweiligen Heimat ist, zeigt sich jedes Jahr zum chinesischen Neujahrfest, an dem jeder versucht zum Heimatort (der Familie) zurückzukehren (vgl. MING 2003).

Bauern, die durch die Umsiedlung ihre alte Beschäftigung nicht mehr ausüben können, müssen teilweise neue Berufe erlernen, obwohl die Familie seit Generationen ausschließlich in der Landwirtschaft tätig war (vgl. THREEGORGESPROBE 2002). Weiterhin stellt sich die Frage nach der Qualität der zugewiesenen Ausweichflächen, für eine landwirtschaftliche Nutzung und deren Entfernung zum Wohnort (vgl. MING 2003).

Zusätzliche Probleme können durch den Zuzug der Umsiedler entstehen, wenn in den Gebieten, in die sie umgesiedelt werden, schon Landknappheit herrscht oder die ansässige bzw. umgesiedelte Bevölkerung einer ethnischen Minderheit angehört.

Ein weiteres Problem, von dem in letzter Zeit häufiger in den Medien berichtet wird, ist die Korruption. Nach einem Bericht der FRANKFURTER RUNDSCHAU vom 22.06.1999 sollen Beamte bereits ausgezahlte Entschädigungsgelder für Umsiedler einbehalten haben, indem sie die betroffenen Umsiedler aus den Entscheidungslisten gestrichen haben. Auch soll es vorgekommen sein, dass Beamte bewusst höhere Zahlen an Umsiedlern einreichen, um so höhere Entschädigungsgelder zu erhalten, die sie dann selbst einbehalten (vgl. WU 2001).

4.2 Qualität und Quantität des Flächenverlustes

Der Flächenverlust, den das Arbeitsgebiet durch den Rückstau erfährt, wird auf Grundlage der normalen Stauhöhe von 175 m über Meeresspiegel berechnet. Die maximal mögliche Stauhöhe von 180,4 m über Meeresspiegel wird nicht berücksichtigt, da sie von Seiten der Betreiber nur als Reserve für extreme Niederschlagsereignisse vorgesehen ist.

Im folgenden wird die Auswirkung des Rückstaus innerhalb des Arbeitsgebietes für drei Aspekte analysiert:

1. eine rein quantitative Berechnung des Flächenverlustes in km²,
2. eine Darstellung des Flächenverlustes im Hinblick auf die Bodentypen,
3. die Analyse der Auswirkung auf die in Tabelle 3.7 gebildeten Hangneigungsklassen.

1. Quantitativer Flächenverlust:

Grundfläche des Arbeitsgebietes vor Überflutung: 133,3 km²

Grundfläche des Arbeitsgebietes nach Überflutung: 121,0 km²

Durch die Überflutung gehen 12,3 km² der Grundfläche verloren. Dies entspricht 9% der gesamten Grundfläche des Arbeitsgebietes.

In stark reliefiertem Gelände ist die tatsächliche Landoberfläche erheblich größer als die (aus topographischen Karten entnehmbare) zweidimensionale Grundfläche. Daher wird an dieser Stelle der dreidimensionale Flächenverlust aufgeführt.

Landoberfläche des Arbeitsgebietes vor Überflutung: 176,5 km²

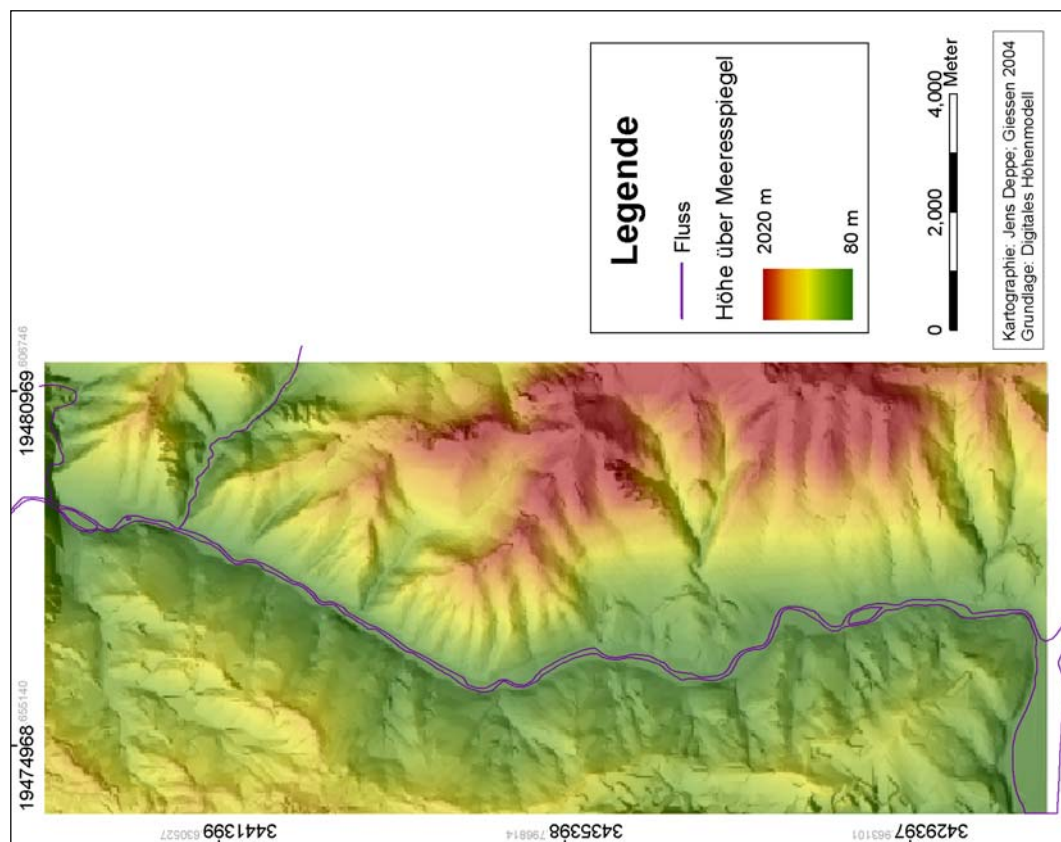
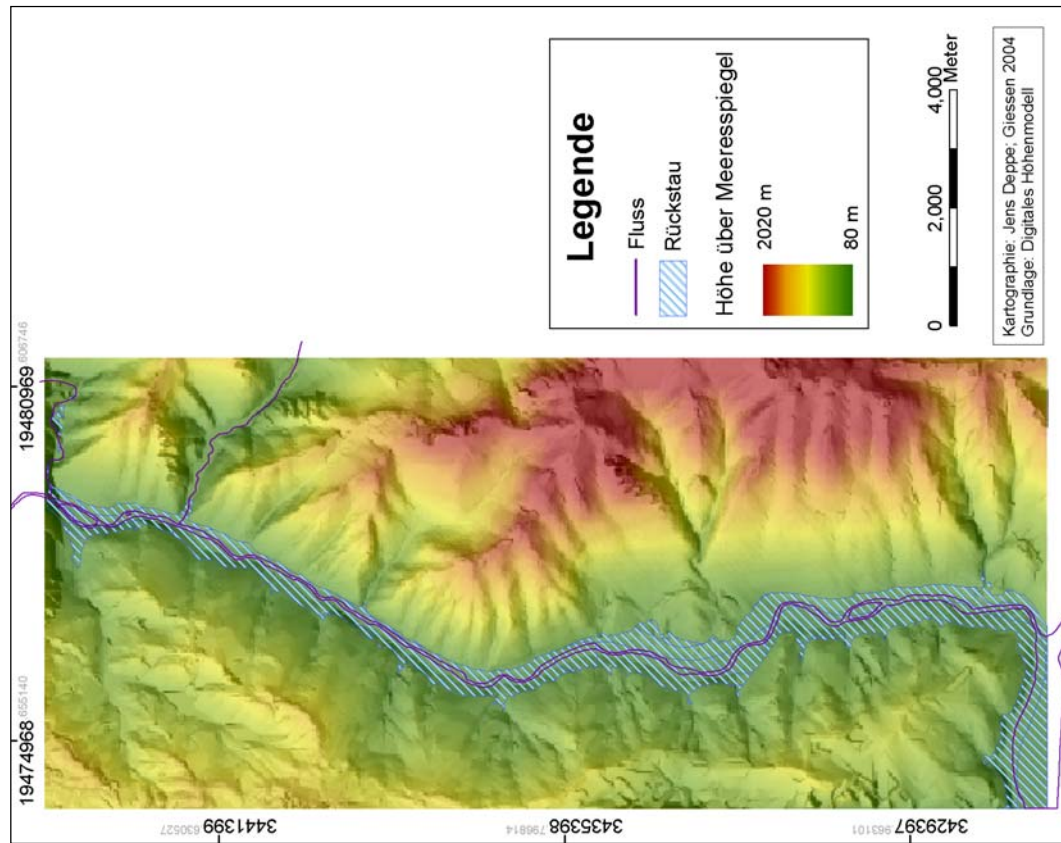
Landoberfläche des Arbeitsgebietes nach Überflutung: 162,7 km²

Durch die Überflutung gehen 13,8 km² verloren, was 7,8% der Gesamtfläche des Arbeitsgebietes entspricht.

Im Vergleich zur Überflutung der (zweidimensionalen) Grundfläche ist der tatsächlich zu erwartende Flächenverlust um 1,5 km² höher.

Die hier durchgeführten Berechnungen erfolgten auf Grundlage des digitalen Höhenmodells und mit dem Analyseprogramm „3D-Analyst“, das ein Zusatzprogramm des GIS „ArcGIS 8.2“ ist.

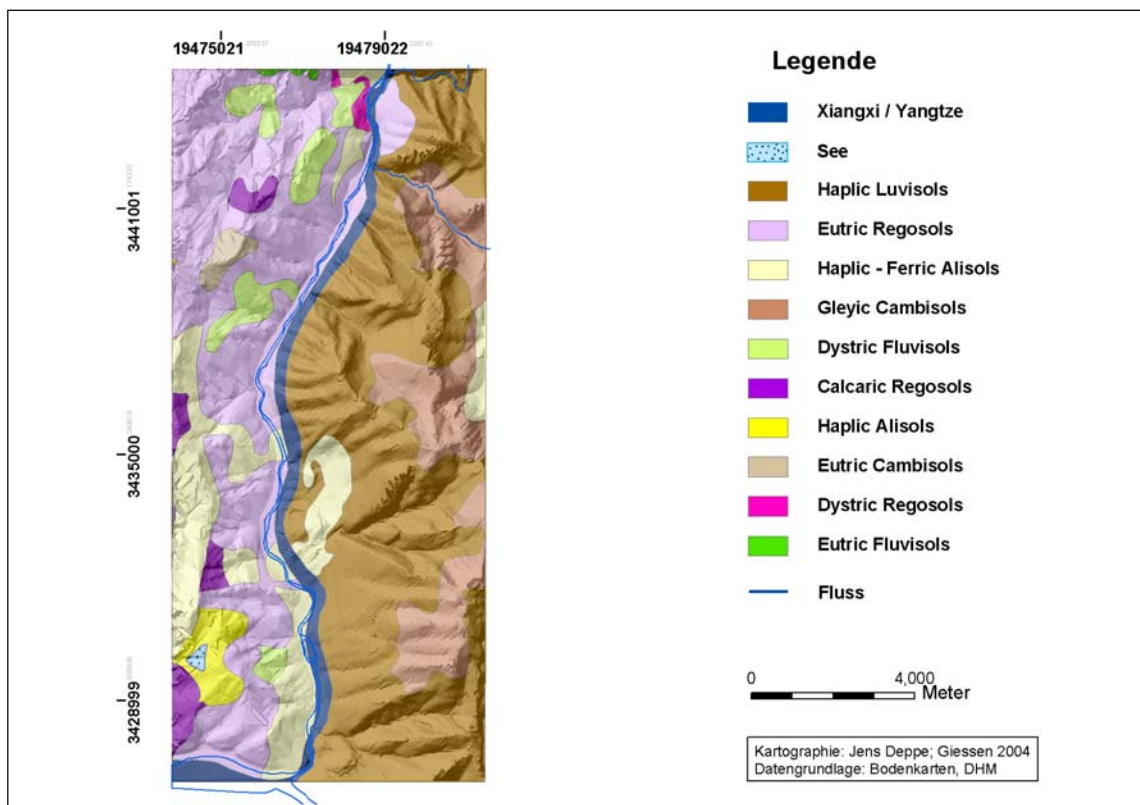
Aus Karte 4.1b sind die überschwemmten Flächen ersichtlich. Zu einem einfacheren Vergleich ist die Karte 4.1a beigelegt, die das Arbeitsgebiet ohne überschwemmte Flächen zeigt (beide folgende Seite).



2. Darstellung des Flächenverlustes im Hinblick auf Bodentypen:

Projiziert man die Bodenkarten auf das digitale Höhenmodell werden folgende Probleme ersichtlich:³¹

1. Der Xiangxi weist in den Bodenkarten und den topographischen Karten unterschiedliche Verläufe auf (s. Seite 42). Betrachtet man den Verlauf des Xiangxi auf der Bodenkarte wird ersichtlich, dass der Fluss im Arbeitsgebiet an einigen Stellen scheinbar Hangrücken überfließt, was natürlich nicht möglich ist (vgl. Karte 4.2a)! Es ist also davon auszugehen, dass der Verlauf des Xiangxi in den Bodenkarten nicht völlig korrekt ist.
2. „Verlegt“ man nun den Xiangxi an die tatsächlich ‚richtige‘ Stelle (also ins Tal), dann entstehen auf der Bodenkarte Lücken für die keine Bodeninformation vorliegt. Um diese Bereiche trotzdem in die nachfolgende USLE-Berechnung einbeziehen zu können müssen für die Lücken jedoch entsprechende Bodendaten ergänzt werden. In diesem Fall wurden die angrenzenden Bodeneinheiten entsprechend ausgeweitet bis die Lücken geschlossen sind.



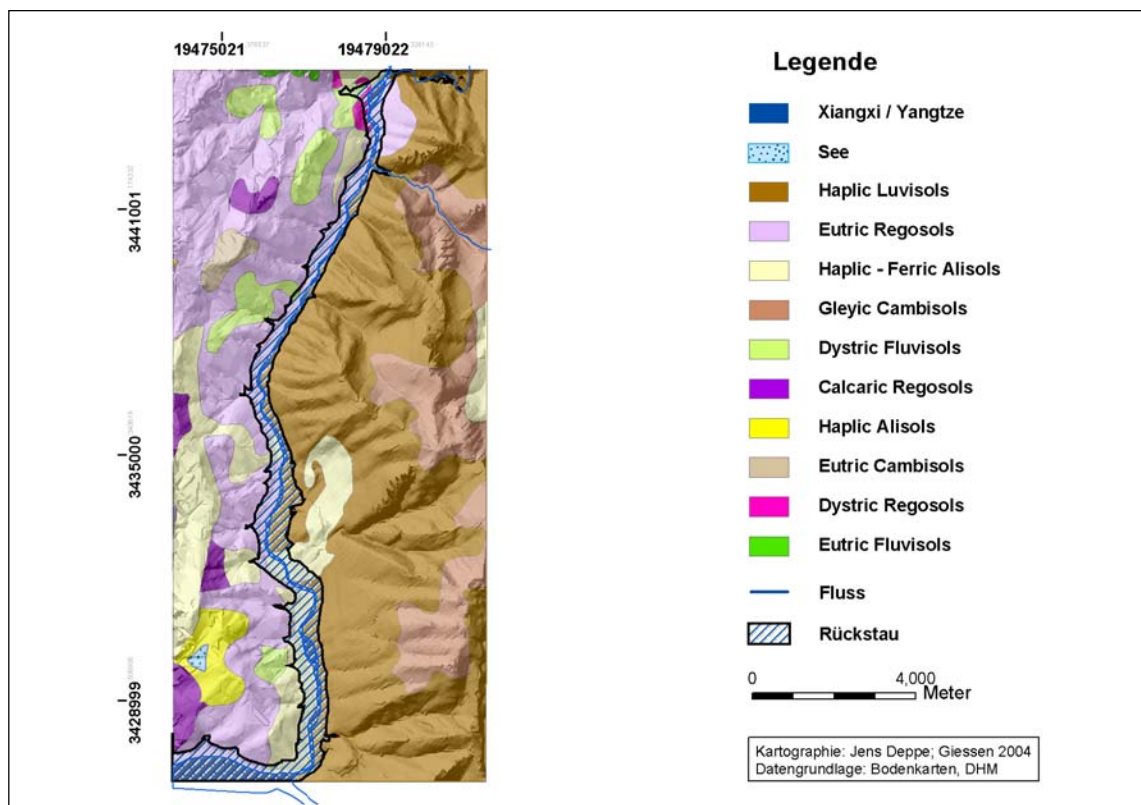
Karte 4.2: Unterschiedliche Verläufe des Xiangxi im Arbeitsgebiet

Karte 4.3 zeigt für die Bodenkarte den bereinigten Verlauf des Xiangxi im Arbeitsgebiet. Diese Bereinigung fand anhand des Verlaufes in den topographischen

³¹ vgl. Kap. 5.1.5.

Karten statt. Der ursprüngliche, anzunehmend falsche, Verlauf in der Bodenkarte wurde dazu auf die Lage des Xiangxi in den topographischen Karten projiziert.

Die entstandenen Datenlücken hinsichtlich der Bodeninformationen wurde durch Ausdehnung der jeweils angrenzenden Bodeneinheiten geschlossen. Da der bereinigte Verlauf des Xiangxi westlicher ist als der ursprüngliche Verlauf, wurden nur die Bodeneinheiten ausgedehnt, die östlich angrenzen, da davon auszugehen ist, dass das Flussufer bei der Kartierung im Gelände jeweils die Grenze einer Bodeneinheit bildete.



Karte 4.3: Auswirkung des Rückstaus auf die Bodentypen des Arbeitsgebietes nach Verlegung des Xiangxi

Nach Bereinigung des Verlaufes des Xiangxi wurden die Flächen der Bodentypen im Arbeitsgebiet neu berechnet. Tabelle 4.4 zeigt neben den Neuberechneten Flächen auch den durch den Rückstau verursachten Flächenverlust der Bodentypen.

Tabelle 4.4: Neuberechneter Flächeninhalt der Bodentypen und durch Rückstau bedingter Flächenverlust

Bodentyp	Fläche vor Rückstau [km ²]	Fläche nach Rückstau [km ²]	Absoluter Flächenverlust [km ²]	Prozentualer Flächenverlust
Haplic Luvisols	54,6	51,5	3,1	5,7%
Eutric Regosols	33,7	30,0	3,7	11%

Bodentyp	Fläche vor Rückstau [km ²]	Fläche nach Rückstau [km ²]	Absoluter Flächenverlust [km ²]	Prozentualer Flächenverlust
Haplic – Ferric Alisols	15,6	13,2	2,4	16,7%
Gleyic Cambisols	14,2	14,2	-	-
Dystic Fluvisols	5,0	5,0	-	-
Calcaric Regosols	2,9	2,9	< 0,1	< 3%
Haplic Alisols	2,4	2,4	-	-
Eutric Cambisols	1,0	1,0	-	-
Dystic Regosols	0,5	0,4	0,1	25%
Eutric Fluvisols	0,2	0,2	-	-

Quelle: eigene Berechnung auf Grundlage der Bodenkarten und des digitalen Höhenmodells

Von den zehn Bodentypen im Arbeitsgebiet sind fünf vom Rückstau betroffen. Hiervon sind die beiden letzten Bodentypen (*Calcaric Regosols* und *Dystic Regosols*) nicht weiter von Bedeutung. Zwar werden 25% vom Bodentyp *Dystic Regosols* überflutet, allerdings hat er mit nur 0,5 km² (bzw. 0,4 km² nach der Überflutung) einen sehr geringen Anteil.

Der Verlust an Flächen mit *Haplic Luvisols* als Boden ist aus Sicht der Landwirtschaft ungünstig, da dieser Boden für eine landwirtschaftliche Nutzung gute Eigenschaften besitzt. Hingegen weist der Flächenverlust der *Eutric Regosols* und der *Haplic – Ferric Alisols* für die Landwirtschaft keine große Bedeutung auf, da diese Böden keine guten Ackerbaustandorte sind.

3.) Auswirkung des Rückstaus auf die in Tabelle 3.7 gebildeten Hangneigungsklassen

Wie sich der Rückstau auf die verschiedenen Hangneigungsklasse auswirkt wird in Tabelle 4.5 gezeigt. Dort ist die relative Zu- und Abnahme der jeweiligen Hangneigungsklasse an der gesamten Landoberfläche des Arbeitsgebietes dargestellt. Die Hangneigungsklassen entsprechen der Einteilung in Tab. 3.7. Die Tab. 4.3 zeigt den jeweiligen Flächenanteil des Arbeitsgebietes vor und nach dem Rückstau.

Tabelle 4.5: Prozentuale und absolute Flächenanteile verschiedener Hangneigungsklassen vor und nach Rückstau

	bis 6° Neigung	6° bis 19° Neigung	ab 19° Neigung
vor Rückstau	5,7% 10 km ²	11,6% 20,5 km ²	82,7% 146 km ²
nach Rückstau	2,3%	11,4%	86,3%

	bis 6° Neigung	6° bis 19° Neigung	ab 19° Neigung
	3,7 km ²	18,6 km ²	140,4 km ²
<i>relative Zu- und Abnahme, absoluter Flächenverlust</i>	-3,4% -6,3 km ²	-0,2% -1,9 km ²	+3,6% -5,6 km ²

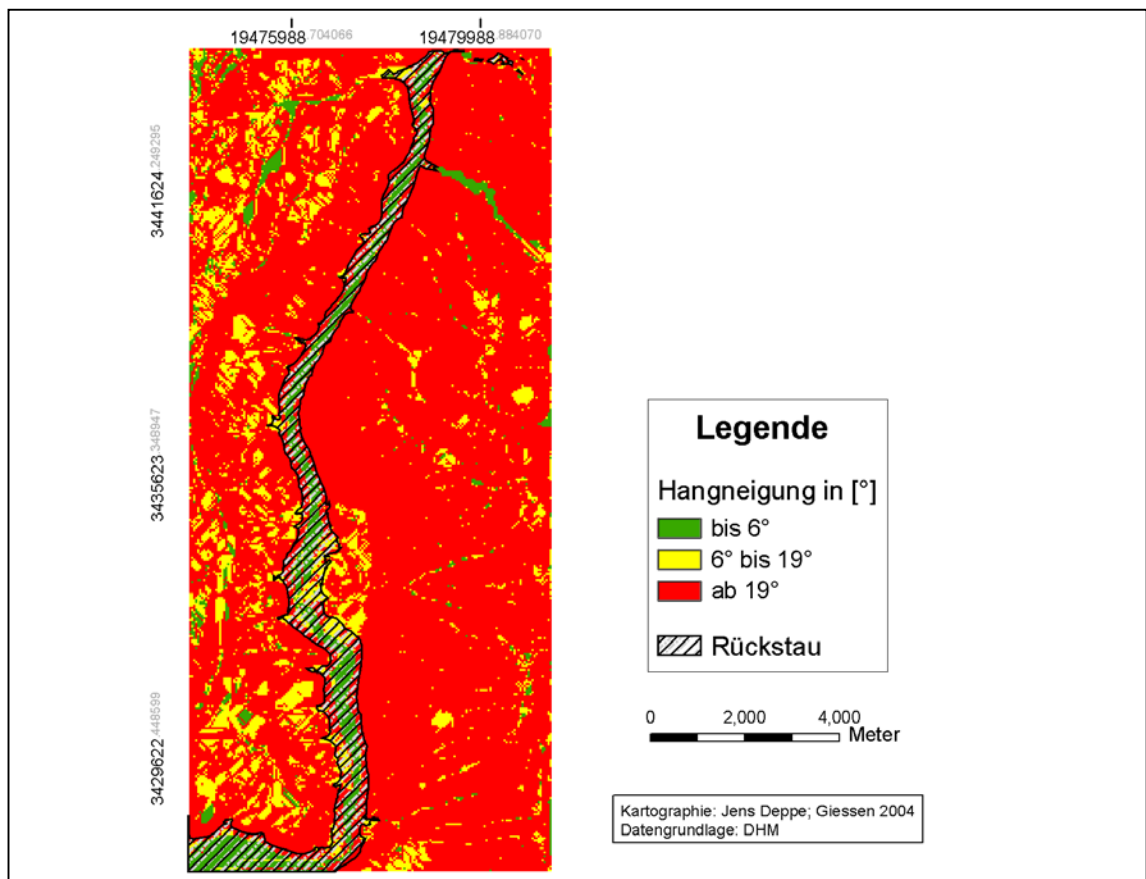
Quelle: eigene Berechnung auf Grundlage des digitalen Höhenmodells

Die Prozentwerte in Zeile zwei und drei beziehen sich auf jeweils 100% der Gesamtfläche. Die Prozentwerte der vierten Zeile geben die relative Veränderung des Flächenanteils der jeweiligen Hangneigungen von der Situation vor und nach Eintreten des Rückstaus wieder.

Die Flächen, die eine Hangneigung bis 6° aufweisen, werden durch den Rückstau um mehr als die Hälfte reduziert. Dabei handelt es sich nicht um ebene oder schwach geneigte Flächen in z.B. Kuppenlagen, sondern um zusammenhängende Flächen im Tal des Xiangxi, die bis zum Rückstau landwirtschaftlich genutzt wurden.

Sehr gering betroffen sind die Flächen mit einer Neigung von 6° bis 19°, während die Flächen mit einer Hangneigung ab 19° einen relativen prozentualen Zuwachs von 3,6% erfahren.

Die Karte 4.4 zeigt die Auswirkung des Rückstaus auf die Hangneigungsklassen.



Karte 4.4: Auswirkung des Rückstaus auf die Hangneigungsklassen

5 Relief-, Klima- und Bodendaten und Methodik ihrer Aufarbeitung und Verwendung

Der erste Teil dieses Kapitels stellt die für diese Arbeit vorhandenen und verwendeten Daten und Rohdaten vor und beschreibt die Aufarbeitung der Rohdaten. Dabei beschränkt sich die Beschreibung der Aufarbeitung auf die eingesetzten Geographischen Informationssysteme und die jeweils durchgeführten Arbeitsschritte. Der zweite Teil beschäftigt sich eingehend mit der USLE. Es werden die einzelnen Faktoren vorgestellt, die dazugehörigen Daten und die Methodik der Berechnung der jeweiligen Faktoren. Hier liegt der Schwerpunkt der Methodik, da die Voraussetzung für die Anwendung der USLE ist, dass die einzelnen Faktoren Werte flächendeckend berechnet werden. Der dritte Teil behandelt die Methodik der Untersuchung möglicher Ausweichflächen. Im vierten und letzten Teil erfolgt eine kritische Betrachtung der verwendeten Methodik, vor allem bei den Faktoren und der Anwendung der USLE.

5.1 Darstellung und Aufarbeitung der vorhandenen Rohdaten

5.1.1 Topographische Karten

Von chinesischer Seite wurde dem Projekt zwei aneinander grenzende topographische Karten im Maßstab 1:100.000 in digitaler Form zur Verfügung gestellt.³² Sie zeigen den größten Teil von Zigui (ein kleines Gebiet des Westens von Zigui ist nicht enthalten) und den südlichen Teil Xingshans, sowie angrenzende Kreise. Der Xiangxi wird von seiner Mündung in den Yangtze bis rund dreiviertel seiner Lauflänge flussaufwärts abgedeckt. Die Kartenblätter haben zwei Koordinatensysteme, Geographischen Koordinaten und UTM-WGS84 Koordinaten. Tabelle 5.1 zeigt die Eckpunkte des von den beiden Karten abgedeckten Gebietes in geographischen Koordinaten.

Tabelle 5.1: Eckpunkte der topographischen Karten:

Eckpunkt	Östliche Länge	Nördliche Breite
Nord-West	111°30'	31°20'
Nord-Ost	111°00'	31°20'
Süd-Ost	111°00'	30°20'
Süd-West	111°30'	30°20'

Quelle: entnommen aus den topographischen Karten

³² Blattnr. H-49-30 (nördl. Blatt) und Blattnr. H-49-42 (südl. Blatt). Das Scannen beider topographischen Karten erfolgte in China mit einer Auflösung von 200 dpi, die Dateigröße im TIF-Format beträgt pro Karte ca. 25 MB

Als Grundlage für sämtliche in dieser Arbeit durchgeführten Georeferenzierungen diente das Flusssystem dieser Karten. Die Digitalisierung und Geokodierung des Flusssystems erfolgte mit PC-MAP, Ver. 11.0. Für die Projektion wurden UTM-WGS84 Koordinaten verwendet.

5.1.2 Digitales Höhenmodell

Im Rahmen des Projektes wurde von chinesischer Seite in digitales Höhenmodell zur Verfügung gestellt. Es basiert auf 19 topographischen Karten des Maßstabs 1:50.000 und deckt das Projektgebiet fast ganzheitlich ab. Lediglich kleine Randbereiche im Norden und Westen fehlen. Es besteht aus vektorisierten Höhenlinien mit einer Auflösung bzw. mit einem Höhenlinienabstand von 100 m. In Kuppen oder Mulden verbessert sich die Auflösung auf bis zu 10 m. Das so erzeugte Höhenmodell wies einige Fehler auf, die vor der Verwendung in dieser Arbeit bereinigt werden mussten. Zum einen war die Projektion ungenau, was eine neue Georeferenzierung erforderlich machte. Dies wurde mit dem selbsterstellten Flusssystem in TNT-MIPS durchgeführt. Zum anderen enthielten die Höhenlinien Fehler, die noch korrigiert werden mussten. So wiesen einige Höhenlinien keine oder falsche, d.h. negative Höhenangaben auf. Negative Höhenangaben wurden gelöscht, fehlende Höhenwerte wurden dahingehend überprüft, ob eine Zuweisung von sinnvollen Werten möglich war. War dies nicht möglich, wurden auch diese gelöscht. Dies war nötig, um eine Verfälschung des Höhenmodells für die nachfolgende Ermittlung des Hanglängen- und Hangneigungsfaktors der USLE zu minimieren. Diese Bereinigung erfolgte in ArcMap (ArcGIS 8.2).

Ein weiterer Arbeitsschritt bestand darin, einen fehlenden Teil im Südwesten des Höhenmodells einzufügen. Dieser Schritt war dringend erforderlich, da es sich dabei auch um den südwestlichen Teil des Arbeitsgebietes handelt. Dazu wurde der fehlende Ausschnitt mit den Höhenlinien der oben genannten topographischen Karten in PC-MAP 11.0 digitalisiert und über Eckpunkte georeferenziert und in ArcMap an das bestehende Höhenmodell angefügt.

Abschließend wurde der Teil des Höhenmodells, der das Arbeitsgebiet umfasst, mit IDRISI32 in ein Raster-Modell konvertiert, um die Analysefunktionen in ArcMap (Spatial Analyst, 3D-Analyst) nutzen zu können.

Die Übersicht über die morphologischen Einheiten (s. Karte 3.3) im Drei-Schluchten-Gebiet wurde mit einem digitalen Geländemodell mit einer Auflösung von 1 km erstellt (GTOPO30 2001).

5.1.3 Klimadaten

Bei den verfügbaren Klimadaten handelt es sich um Niederschlagstageswerte von acht Messstationen für den Zeitraum von 1970 bis 1986. Die Messreihen der Stationen sind leider nicht vollständig, sie weisen für einige Stationen Lücken von einzelnen Monaten bis zu einem vollen Jahr auf.³³ Aus Anhang B können die Monatsniederschlagswerte der im Projektgebiet gelegenen Stationen für den gesamten Zeitraum entnommen werden.

Für die Berechnung der R-Werte wurden von den vorliegenden Niederschlagsdaten nur die Messwerte der Stationen Xia-kou und Xingshan verwendet. Die Höhenlage der übrigen Stationen konnte nur über das Höhenmodell erhalten werden. Da die Koordinaten der Stationen nur auf Minuten genau sind stellte sich der Unterschied in der Höhe bei einer Abweichung um 30 Sekunden als zu groß heraus. Für die Stationen Xia-kou und Xingshan lagen exakte Höhenangaben vor.

Die Datenlücken betreffen bei diesen beiden Stationen nur die Jahre 1975 und 1985, für die übrigen Jahre sind die Messreihen vollständig vorhanden. Des weiteren wurden Niederschlagswerte der Stationen Badong, Yichang, Fengjie, Enshi und Jiangling verwendet. Diese Stationen sind halbkreisförmig von Süd-Westen bis Osten um das Projektgebiet herum gelegen. Die Daten stammen von einer von der FAO herausgegebenen CD-Rom zur Ermittlung von Klimadaten (LOCCLIM 2002).

5.1.4 Geologie

Die Beschreibung der Geologie des Projektgebietes erfolgte hauptsächlich auf Grundlage von GEOMAPX 1997. Dabei handelt es sich um eine digitale geologische Karte im Maßstab 1 : 2 Mio., die den gesamten südost-asiatischen Raum umfasst.

Für die Kreise Xingshan und Zigui ist darüber hinaus eine geologische Karte im Maßstab 1 : 600.000 vorhanden, die neben der Beschreibung der Geologie auch Informationen über vorhandene Störungen enthält. Entnommen ist sie aus dem TGA 2000.

Zusätzliche Informationen liefert ein bisher unveröffentlichter interner Projektbericht, der eine allgemeine, kurze Beschreibung des Projektgebietes gibt (SCHOLTEN et al. o. J.).

³³ Stationsnamen, Lage der Stationen und Datenlücken siehe Kap. 3.1.3.

5.1.5 Bodendaten

Für diese Arbeit standen digitale Bodenkarten der Kreise Shennongjia (Maßstab 1 : 200.000), Xingshan (Maßstab 1 : 160.000) und Zigui (Maßstab 1 : 180.000) mit den jeweiligen Erläuterungen zur Verfügung.

Bei den digitalen Bodenkarten handelt es sich um Grafikdateien, die mit einer Auflösung von jeweils 200 dpi von chinesischen Projektpartnern von den Originalkarten eingescannt wurden. Diese wurden im Rahmen dieser Arbeit mit PC-MAP Ver. 11.0 digitalisiert. Die Georeferenzierung erfolgte anhand des in den Bodenkarten eingezeichneten Flusssystems mit TNT-MIPS, der „Referenz-Layer“ war das Flusssystem der oben beschriebenen topographischen Karten. Dabei trat ein Verzerrungsfehler auf, der im Durchschnitt 80 m beträgt. Der Grund für diesen Fehler ist der teilweise etwas falsche Verlauf des Flusssystems in den Bodenkarten. Auf die Auswirkung dieses Fehlers wurde bereits in Kapitel 4.2. eingegangen.

Die Erläuterungen enthalten für die einzelnen Bodentypen horizontbezogene Daten über:

- Horizontgrenzen
- Horizontfarbe (MUNSELL-Farbe)
- Struktur, Textur
- Durchwurzelungstiefe und –intensität
- Hydromorphiemerkmale
- pH-Wert
- Anteil an organischer Substanz, Stickstoff, Phosphor, Kalium
- Kationenaustauschkapazität
- Korngrößenverteilung³⁴
- Lagerungsdichte
- Feldkapazität

Für den größten Teil der in den Erläuterungen aufgeführten Bodenprofile sind diese Informationen vorhanden. In einzelnen Fällen fehlen diese Informationen teilweise oder gänzlich. In Anhang A ist die Beschreibung der Böden in den Erläuterungen exemplarisch anhand der wichtigsten Böden des Projekt- und Arbeitsgebietes ersichtlich.

Ein weiterer Arbeitsschritt bestand darin, die in den Erläuterungen aufgeführten Bodeneigenschaften in ein Datenbankformat zu bringen, mit dem diese Attributdaten an die Geometriedaten der entsprechenden Bodeneinheiten angebunden werden

³⁴ Die Einteilung der Korngrößen entspricht nicht der internationalen Einteilung; die Korngrößen sind in die folgenden Klassen eingeteilt: > 0,05 mm; 0,05 – 0,01 mm; 0,01 – 0,005 mm; 0,005 – 0,001 mm; < 0,001 mm.

konnten.

Der letzte Teil der Aufbereitung der Bodendaten war eine Übersetzung der chinesischen Bodennomenklatur und die Angleichung an die Nomenklatur der FAO. Im ersten Schritt wurden den chinesischen „soil groups“ die entsprechenden Bodeneinheiten („soil units“) der FAO zugewiesen. Dies erfolgte mit Hilfe einer Tabelle, die eine Korrelation zwischen diesen beiden Nomenklaturen herstellt (GONG et al. 1994, ISSAS 1998, FAO 2003). In einem zweiten Schritt wurden die so bestimmten Bodeneinheiten anhand des Klassifikations-Schlüssels der FAO für Bodenressourcen (LANDON 1984, SCHWAB et al. 1981, WRB 1988a) noch einmal überprüft. Eine weitere Differenzierung innerhalb der jeweiligen Bodeneinheiten ergab sich aus den diagnostischen Horizonten und Eigenschaften. Hierfür wurden die (in den Erläuterungen aufgelisteten) Bodeneigenschaften mit den Kriterien der FAO-Nomenklatur verglichen, die für die Vergabe der adjektivischen Zusatzbegriffe erfüllt werden müssen (MORGAN 1979, WRB 1988b).

5.1.6 Landnutzung

Die Daten über die Landnutzung stammen zum Einen aus statistischen Jahrbüchern der Kreise Xingshan und Zigui, zum Anderen aus persönlichen Gesprächen, die während des Aufenthaltes im Projektgebiet und im Verlauf dieser Arbeit geführt wurden. Die hierdurch gesammelten Informationen beschränken sich allerdings auf die wichtigsten Kulturpflanzen: Reis, Weizen, Mais und Kartoffeln. Die Zeitangaben für Aussaat, Ernte, etc. stammen aus nicht veröffentlichten Projektinformationen.

Daten über die Bestandsdichte der jeweiligen Kulturpflanzen und evtl. angewendete Bodenkonservierungsmaßnahmen konnten nur auf Grundlage der Eindrücke und Gespräche während des Aufenthaltes im Projektgebiet erfasst und verwendet werden.

5.2 „USLE“: Detaillierte Beschreibung der USLE, der enthaltenen Faktoren und deren Aufarbeitung

5.2.1 Formel und Prinzip

In der Mitte des letzten Jahrhunderts entwickelten WISCHMEYER und SMITH in den USA die „Universal Soil Loss Equation“ (vgl. AH 537). Das „Universal“ unterscheidet sie dabei von anderen, regionalen Bodenabtragungsgleichungen und sollte einen universellen Einsatz zum Vorraussagen von Bodenverlusten ermöglichen. Mit Hilfe dieser Bodenabtragungsgleichung lassen sich die langjährigen mittleren jährlichen Bodenverluste

durch Wassererosion vorhersagen. Errechnet wird dieser Bodenabtrag durch die Multiplikation der Faktoren, die im wesentlichen für den Bodenabtrag verantwortlich sind. Die Faktoren setzen sich aus folgenden Daten zusammen: Relief-, Klima- (insbesondere Niederschlags-), Boden-, und Bodenbedeckungsdaten sowie Erosionsschutzmaßnahmen. Insgesamt ergibt sich für den Bodenabtrag folgende Gleichung:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

mit:

A = der berechnete Bodenabtrag einer Gebietseinheit in [Menge / (Fläche * Zeit)], in der USLE in [tons / acre * year] (Tonnen / Hektar * Jahr) angegeben, in der ABAG normalerweise in [Tonnen / Hektar * Jahr] angegeben.

R = der Regenerositätsfaktor, Zahlenwert des Regenfallerosionsindex, zuzüglich eines Faktors für Oberflächenabfluss bedingt durch Schneeschmelze (wo dieser Abfluss signifikant ist); dieser Wert charakterisiert die Aggressivität des Niederschlags.

K = der Bodenerodibilitätsfaktor, wird aus den Eigenschaften des Bodentyps gebildet und gibt die Anfälligkeit des Bodens gegen Erosionskräfte wieder.

L = der Hanglängenfaktor.

S = der Hangneigungsfaktor.

C = der Bedeckungs- und Bewirtschaftungsfaktor, gibt den erosionsschützenden oder begünstigenden Einfluss von Vegetationsdecken und deren Bewirtschaftungsart an.

P = der Erosionsschutzfaktor, er beschreibt die zu erwartende Wirksamkeit von bodenkonservierenden Schutzmaßnahmen wie Terrassierung, Konturpflügen und ähnlichem.

Die Faktoren werden nun im Anschluss näher besprochen.

Der Hauptzweck der Bodenabtragungsgleichung ist, den zu erwartenden Bodenabtrag vorauszuberechnen, der sich bei gegebenen physiogeographischen Faktoren und aus verschiedenen Kombinationen von Bewirtschaftungstechniken, Anbauprodukten und Schutzmaßnahmen ergeben kann. „Ergeben kann“ deshalb, weil die Bodenabtragungsgleichung nur Wahrscheinlichkeiten und Größenordnungen angibt, wie die Erosionsmenge für ein bestimmtes Gebiet aussehen kann (vgl. BLUME 1992). Dies ermöglicht beispielsweise eine frühzeitige bodenschützende Landnutzungsplanung. Darüber hinaus ist zu bedenken, dass nicht nur die Gebiete, in denen Bodenerosion auftritt, geschädigt werden, sondern in vielen Fällen auch die Gebiete, in denen die Bodenfruchtbarkeit akkumuliert wird, z. B. durch Eutrophierung von Gewässern durch übermäßigen Nährstoffeintrag oder die Sedimentation von Vorflutern.

Das Prinzip der Bodenabtragungsgleichung beruht dabei auf empirischen Untersuchungen. Von genormten Testflächen (9° Hangneigung, 72,6 Fuß [entspricht

21,78 m] Kantenlänge) wurde in langjährigen Testreihen der Bodenabtrag gemessen, wobei jeweils die Eigenschaft eines einzelnen Faktors verändert wurde, während die übrigen Faktoren konstant gehalten wurden. Dadurch wurde es möglich, je nach Eigenschaft der einzelnen Faktoren den zu erwartenden Bodenabtrag zu berechnen.

Zwar ist die USLE unter den Bedingungen des Mittleren Westens der USA entwickelt worden und wurde ursprünglich für den Einsatz in den USA konzipiert, jedoch ist die USLE durch Anpassung der Faktoren auch auf Gebiete außerhalb der USA anwendbar (vgl. SCHWERTMANN et al. 1987).

Für die Agrarlandschaften Mitteleuropas gelten für den Bodenverlust Grenzwerte, nach denen die Erosionsgefährdung in verschiedene Stufen eingeteilt wird. So sind beispielsweise mittel- bis tiefgründige Böden mit Bodenverlusten von einer bis fünf Tonnen pro Jahr und Hektar als sehr gering erosionsgefährdet eingestuft. Ist der Bodenverlust größer als 30 Tonnen pro Jahr und Hektar, wird die Erosionsgefährdung als sehr hoch eingestuft.

Die Werte der einzelnen Faktoren werden in der ursprünglichen ULSE in amerikanischen Maßeinheiten gemessen. Dementsprechend werden die einzelnen Faktoren in dieser Arbeit auch nach dem amerikanischen Standard berechnet. Im Anschluss an die jeweilige Berechnung werden die Werte dann in das metrische System umgerechnet. Hierfür gibt es in der ULSE jeweils genaue Umrechnungsformeln.

5.2.2 R-Faktor

Die Erosivität des Regens setzt sich aus zwei Teilprozessen zusammen, zum einen aus der Aggregatzerstörung der auf den Boden aufprallenden Regentropfen („splash-“ oder Plansch-Effekt) und zum anderen aus dem Transport von Bodenteilchen durch den oberflächlichen Abfluss. So sind beispielsweise Starkregenereignisse mit großen Regentropfen und hohen Niederschlagsintensitäten weitaus erosiver als „leichte“ Landregen mit kleinen Tropfen und geringen Intensitäten.

Für einige Gebiete der Welt stehen sogenannte Isoerodentkarten zur Verfügung, aus denen der R-Faktor direkt entnommen werden kann. Ist dies nicht der Fall, lässt sich die Erosivität eines Regenereignisses (R-Faktor) anhand folgender, vereinfachter Formel berechnen:

$$R = \sum E * I_{\max 30}$$

mit:

E = kinetische Energie eines Regenereignisses

$I_{\max 30}$ = maximale Regenintensität während eines 30-min. Niederschlagsereignisses

Der R-Wert gibt dann die Erosivität der Niederschläge in [100 feet * tons * inch / acre * hour * year] (US-Systematik) bzw. nach Umrechnung in [MJ * mm / ha * h * a] (metrisches System) an.

Sowohl in der USLE als auch in der RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation, AH 703, ist eine modifizierte Version der USLE, die aber auf Grund einer erheblich größeren Datenmenge nicht verwendet werden konnte) werden für die Regenintensitäten Zeitintervalle von 30 Minuten benötigt. Da die Datengrundlage „nur“ Tageswerte für die Regenintensitäten liefert, können diese Formeln im vorliegenden Fall nicht verwendet werden.³⁵

Als Alternative zur Ermittlung des R-Faktors wurde der sogenannte MODIFIZIERTE FOURNIER-INDEX (DVWK 1990) benutzt. Dieser wurde für solche Situationen entwickelt, bei denen die Niederschlagswerte nicht nach den Vorgaben der USLE (bzw. auch RUSLE) verfügbar sind. In den modifizierten Fournier-Index gehen die vieljährigen mittleren Monats- und Jahresniederschlagssummen aller Kalendermonate ein. Der R-Faktor wird dann als Funktion des modifizierten Fournier-Index F_m wie folgt errechnet:

$$R = f(F_m) = f\left(\sum_{i=1}^{12} p_i^2 * P^{-1}\right)$$

mit:

p_i = vieljährige mittlere Niederschlagssumme jedes einzelnen Monats

P = vieljähriger mittlerer Jahresniederschlag

Die Funktion des modifizierten FOURNIER.-INDEX $f(F_m)$ ist:

$$f = 12,866 + 0,626 * F_m$$

und gibt die mittlere jährliche (Niederschlags-) Erosivität **R** an.

Der Korrelationskoeffizient zwischen so errechneten R-Werten und real gemessenen R-Werten beträgt 0,958. Hierdurch ist gewährleistet, dass eine ausreichend genaue Berechnung der R-Werte möglich ist.

Da die Berechnung mit dem modifizierten FOURNIER-INDEX durchgeführt wurde, ist eine Umrechnung von der US-Systematik in das metrisches System nicht nötig. Die

³⁵ Auf eine nähere Beschreibung der Formeln wird deshalb an dieser Stelle verzichtet.

Werte des R-Faktors liegen direkt im metrischen System vor.

Im ersten Schritt wurden für die sieben Stationen Badong, Yichang, Fengjie, Enshi, Jiangling, Xingshan und Xia-kou R-Werte berechnet.³⁶ Die restlichen im Projektgebiet liegenden Niederschlagsmessstationen wurden für die Berechnung nicht verwendet. Die jeweilige Höhenlage jeder dieser Stationen konnte nur über das digitale Höhenmodell ermittelt werden. Die Genauigkeit der Lage der einzelnen Stationen ist jedoch nicht ausreichend, da die geographischen Koordinaten nur auf Minuten genau sind. So kann es durch die Abweichung der Lage um 30 Sekunden zu einem Unterschied in der Höhenlage um mehrere 100 Meter kommen.

Für die Stationen Xingshan und Xia-kou liegen genaue Höhenangaben vor.

Die Tabelle 5.2 zeigt für die acht Niederschlagsmessstationen die berechneten jährlichen R-Werte.

Tabelle 5.2: Jährliche R-Werte der acht Niederschlagsmessstationen

Station	Höhe über Meeresspiegel [m]	R-Wert [MJ * mm / ha * h * a]
Badong	300	833
Enshi	458	1197
Fengjie	607	963
Jiangling	33	824
Xia-kou	1360	875
Xingshan	125	863
Yichang	134	980

Quelle: eigene Berechnung; Grundlage: dig. Höhenmodell und Niederschlagswerte

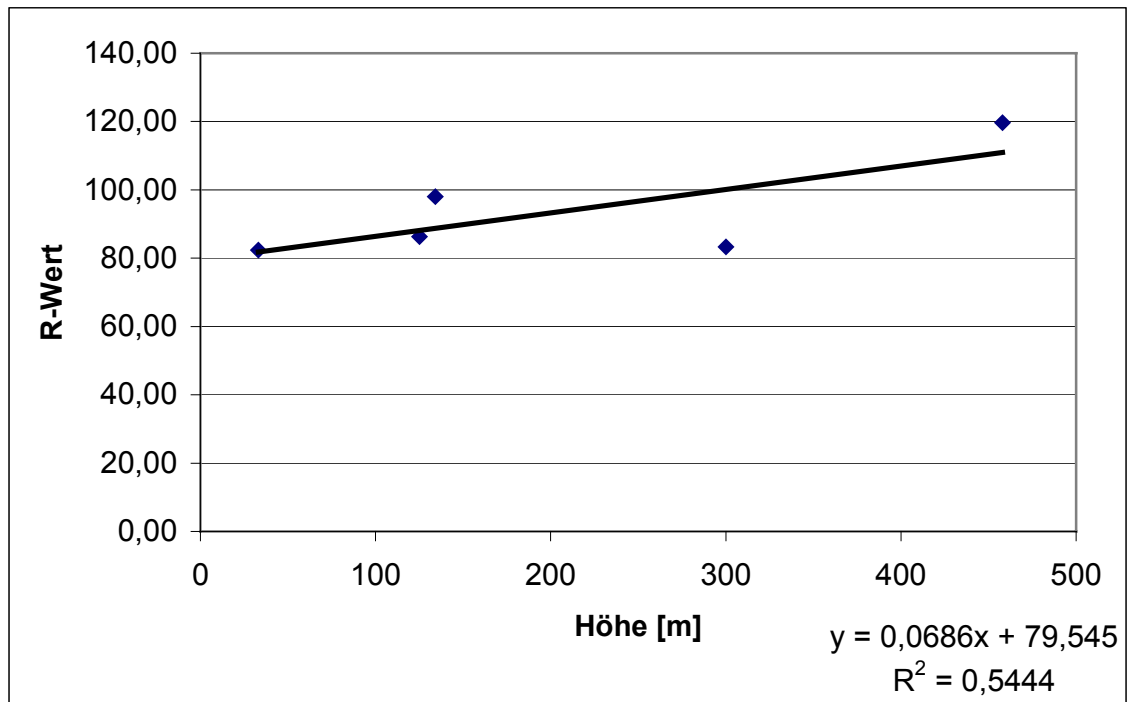
Für die Anwendung der USLE ist es erforderlich, flächendeckende R-Werte für das Arbeitsgebiet zu interpolieren. Dies wurde durch eine Korrelation zwischen Höhenlage und R-Wert durchgeführt. Als Basiswerte hierfür dienten die Höhenwerte und die dazugehörigen berechneten R-Werte der sieben Messstationen.

Mit einer ersten Korrelationsanalyse (BAHRENBURG 1990) konnte ein Zusammenhang zwischen Höhe über Meeresspiegel und dem R-Wert festgestellt werden. Dabei wurde deutlich, dass bis zu einer Höhenlage von rund 500 m der R-Wert zunimmt und ab 500 m wieder abnimmt. Deshalb wurden zwei weitere Korrelationsanalysen durchgeführt, um diese beiden Höhenbereiche (bis 500m und ab 500 m) getrennt von einander zu untersuchen. Für die Ermittlung der R-Werte des Arbeitsgebietes wurden die Gleichungen mit dem jeweils besten

³⁶ Siehe Kapitel 5.1.3

Korrelationskoeffizienten ausgewählt.

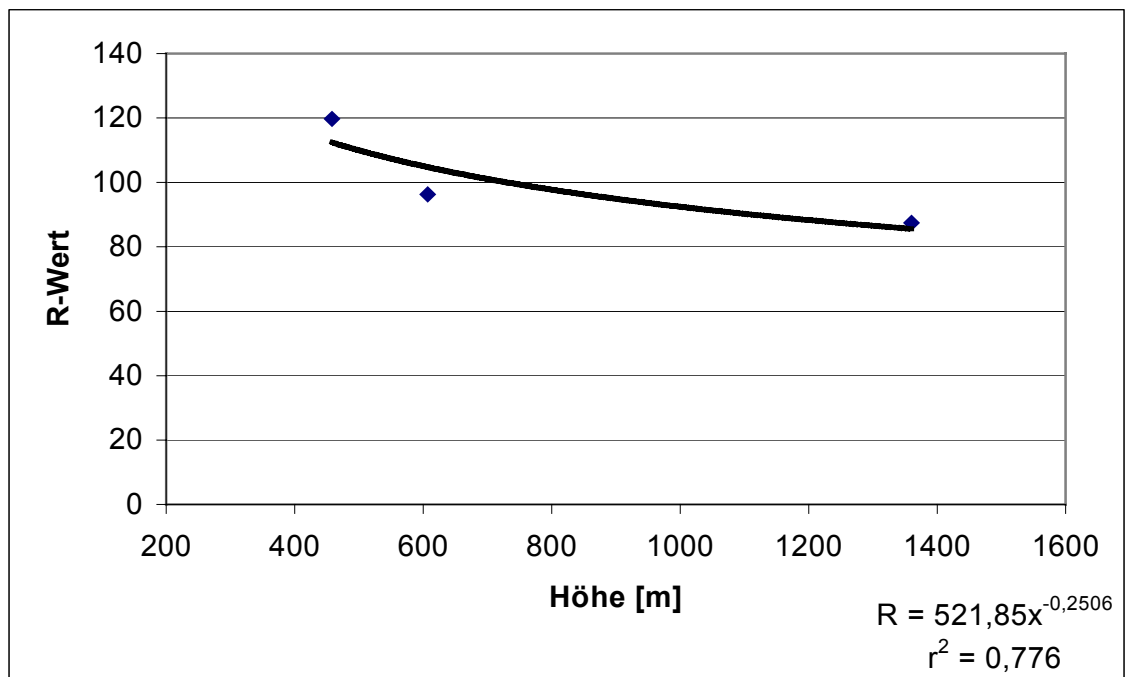
Die Abbildung 5.1 zeigt das Ergebnis der Korrelationsanalyse für Höhenwerte bis 500 m über Meeresspiegel. Der R-Wert für eine Höhe z wird anhand der Gleichung $R =$



$0,0552 \cdot z + 84,276$ berechnet. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r^2 = 0,54$.

Abbildung 5.1: Ergebnis der Korrelationsanalyse für Höhenwerte z bis 500 m.

Die Abbildung 5.2 zeigt die Korrelationsanalyse für Höhenwerte ab 500 m über Meeresspiegel an. Der R-Wert wird für eine Höhe z mit der Gleichung $R =$

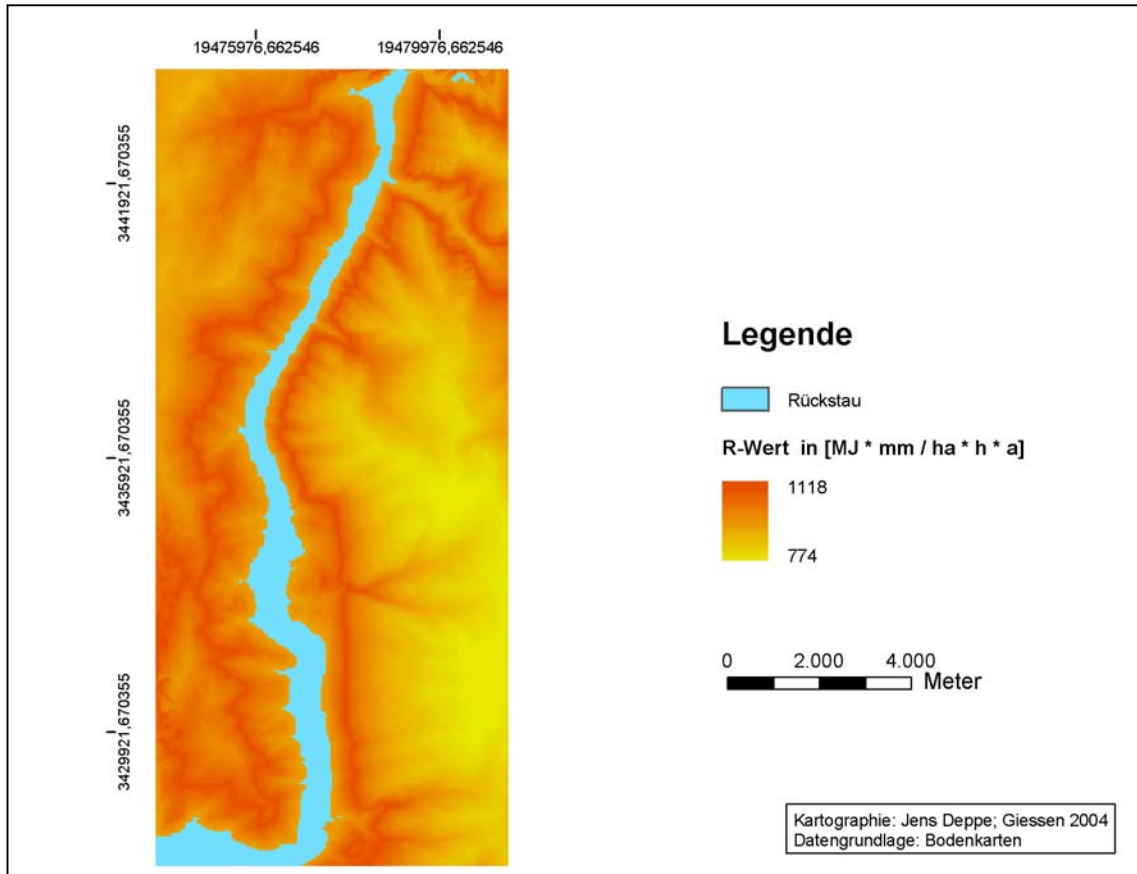


$521,85z^{-0,2506}$ berechnet. Der Korrelationskoeffizient beträgt $r^2 = 0,78$.

Abbildung 5.2: Ergebnis der Korrelationsanalyse für Höhenwerte z ab 500 m.

Der letzte Arbeitsschritt bestand darin, die ermittelten Gleichungen für die R-Wert-Berechnung auf das digitale Höhenmodell anzuwenden. Hierdurch konnte für jeden Punkt im Arbeitsgebiet ein R-Wert zugewiesen werden.

Diese Oberflächenanalyse wurde in ARCGIS 8.2 mit Hilfe des „Raster Calculator“



durchgeführt. Das Ergebnis dieser Oberflächenanalyse zeigt die Karte 5.1.

Karte 5.1: R-Werte für das Arbeitsgebiet

5.2.3 K-Faktor

Der K-Faktor beschreibt die Erodierbarkeit des Bodens. In diese Berechnung gehen die erosionsrelevanten Eigenschaften eines Bodens ein, wie der Anteil organischer Substanz, das Bodengefüge, die Permeabilität und die Korngrößenverteilung. Diese Bodeneigenschaften gehen in die Berechnung des K-Wertes folgender Gewichtung ein:

$$K = [2,1 * M^{1,14} * 10^{-4} * (12 - A) + 3,25 * (B - 2) + 2,5 * (C - 3)] / 100$$

mit:

$$M = (\% \text{ Schluff} + \text{Feinstsand}) * (100 - \% \text{ Ton})$$

A = Gehalt an organischer Substanz in %

B = Aggregatsklasse

C = Permeabilitätsklasse

Der K-Wert gibt die Erordierbarkeit eines Bodens in [ton * acre * hour / 100acre * feet * ton * inch] (US-Systematik) bzw. (nach Umrechnung) in [t * ha * h / ha * MJ * mm] (metrisches System) an.

Demnach erhöht sich die Erosionsanfälligkeit eines Bodens bei:

- abnehmendem Tongehalt,
- zunehmendem Schluff- und Feinstsandgehalt,
- abnehmendem Anteil der organischen Substanz
- zunehmender Aggregatsgröße und
- abnehmender Permeabilität.

Ein weiteres Kriterium, das die Erosionsanfälligkeit beeinflusst, ist der Grad der Steinbedeckung des Bodens. Auf Grund fehlender Informationen hierüber konnte dieser Faktor in dieser Arbeit leider nicht berücksichtigt werden.

Diese o. a. Formel der USLE zur Berechnung der einzelnen K-Werte kann jedoch nicht verwendet werden, da:

1. in den Erläuterungen zu den Bodenkarten die Einteilung der Korngrößenfraktion nicht dem internationalen Standard bzw. den Vorgaben der USLE-Formel entspricht (s. Kap. 5.1.5, Bodendaten),
2. die Informationen über die Aggregatsklassen nur lückenhaft vorhanden sind, und
3. keine Informationen über die Permeabilität vorliegen.

In der RUSLE werden verschiedene Möglichkeiten beschrieben, wie man trotz schlechter Datengrundlage hinreichend genaue K-Werte berechnen kann. Dies gilt auch für den vorliegenden Fall, wo die Datengrundlage Informationslücken und abweichende Korngrößenverteilungen aufweist.

Die alternative Formel zur Berechnung des K-Wertes gemäß RUSLE lautet:

$$K = 7,594 * \left\{ 0,0034 + 0,0405 * \exp \left[-0,5 * \left(\frac{\log(Dg) + 1,659}{0,7101} \right)^2 \right] \right\}$$

mit:

$$Dg = \exp(0,01 * \sum f_i * \ln m_i)$$

und Dg = geometrisches Mittel des Korngrößendurchmessers.

Hierbei ist f_i der Prozentwert der einzelnen Korngrößenfraktionen und m_i das arithmetische Mittel aus Ober- und Untergrenze der jeweiligen Korngrößenfraktion.

In den Erläuterungen der verwendeten Bodenkarten ist für die kleinste Korngrößenfraktion die Untergrenze offen ($<0,001$ mm). Als Untergrenze wurde somit die Korngröße 0 mm gewählt, hierdurch ergibt sich als arithmetisches Mittel der Wert 0,0005. Die Obergrenze für die größte Korngrößenfraktion ist ebenfalls offen ($>0,05$ mm). Aus der Erklärung für die oben beschriebene Formel in der RUSLE geht jedoch hervor, dass als Obergrenze eine Korngröße von 2 mm verwendet wurde. Für das arithmetische Mittel ergibt sich folglich der Wert 1,0025.

Die für die Böden (auf Ebene der Bodenuntergruppen) des Arbeitsgebietes und für die wichtigsten Böden des Projektgebietes berechneten durchschnittlichen K-Werte (s. Kap. 3.1.4., Tab. 3.12) werden in Tabelle 5.3 gezeigt. In die Berechnungen gingen nur die Böden ein, deren Korngrößenfraktionen für den A-Horizont vollständig vorhanden sind. Die Umrechnung des US-Systems in das metrische System erfolgt durch die Multiplikation des K-Wertes mit dem Faktor 0,1317.

Tabelle 5.3: K-Werte für die Böden des Arbeitsgebietes und wichtigste Böden des Projektgebietes

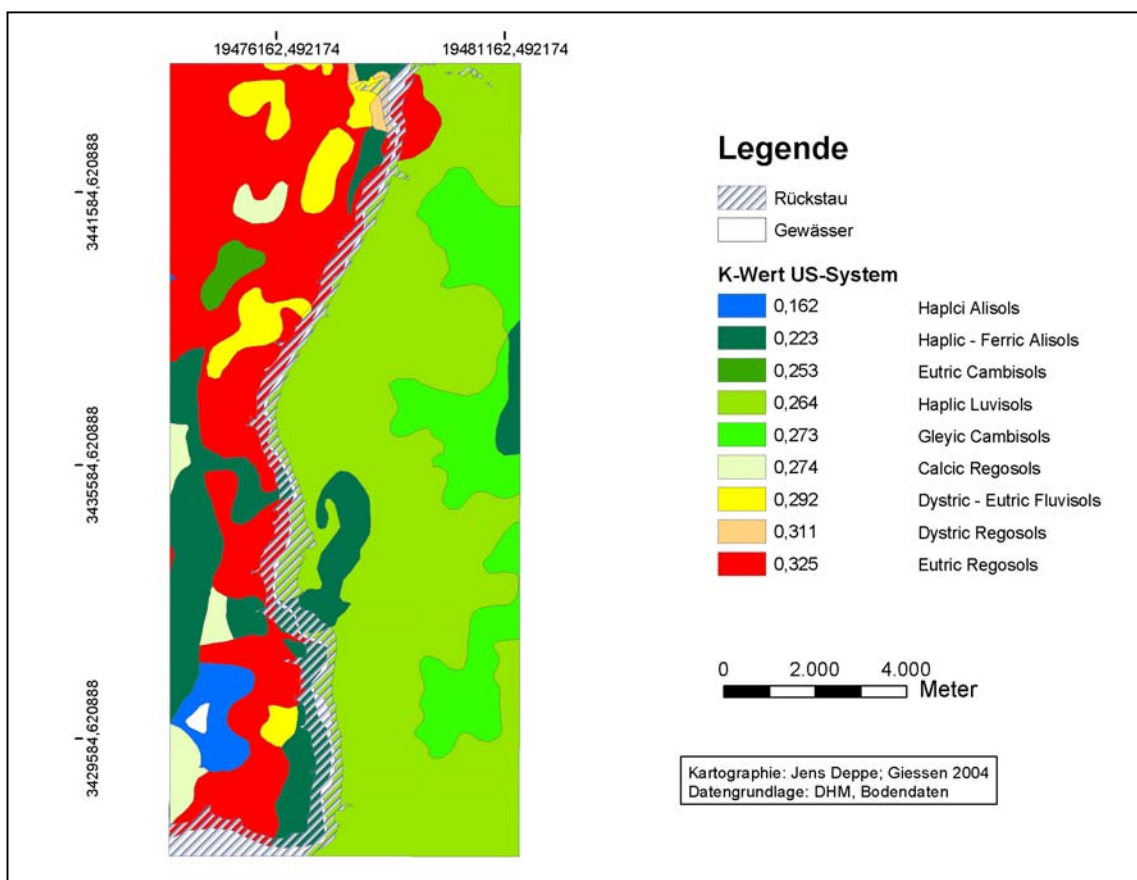
Bodentyp (FAO)	Kennziffer der Bodenuntergruppe	K-Wert (US-System)	K-Wert (metr. System)
Haplic Alisols	62	0,231	0.03036
Haplic – Ferric Alisols	61	0,236	0.03108
Eutric Cambisols	74	0,253	0.03332
Haplic Luvisols	32	0,275	0.03622
Gleyic Cambisols	72	0,281	0.03701
Gleyic Cambisols	101	0,288	0.03793
Dytric – Eutric Fluvisols	12	0,289	0.03799
Calcic Regosols	43	0,297	0.03912
Dystric Regosols	41	0,311	0.04096
Mollic Planosols	111	0,319	0.04201
Eutric Regosols	42	0,325	0.04280

Quelle: eigene Berechnung

Es ist deutlich zu erkennen, dass die K-Werte nicht allzu sehr variieren, die Differenz zwischen größtem und kleinstem K-Wert beträgt nur 0,094. Grund hierfür ist, dass – wie oben bereits erwähnt – in die Berechnung nur die Korngrößen eingehen. Für die nachfolgende Anwendung der USLE bedeutet das, dass dem K-Wert keine sonderlich große Bedeutung zukommt bzw. der zu erwartende Bodenabtrag nicht sehr stark vom Bodentypen abhängig ist.

Die Diskrepanz zwischen der Vorhersage der zu erwartenden K-Werte in Kap. 3.1.4. (Zusammenfassung) und der hier errechneten lässt sich damit erklären, dass in die Berechnung nur die Korngrößenfraktion einging, sonstige erosionsverringende Faktoren wie beispielsweise der Anteil der organischen Substanz aber leider nicht berücksichtigt werden konnten.

Die Karte 5.2 zeigt die errechneten mittleren K-Werte der Bodenuntergruppen für das Arbeitsgebiet auf. Die K-Werte wurden auf Grundlage der Bodendaten des Kreises Zigui berechnet, da das Arbeitsgebiet im Kreis Zigui liegt. Hieraus ergeben sich die Unterschiede der K-Werten für die einzelnen Bodentypen im Vergleich mit Tabelle 5.2. Für den Bodentyp Eutric Cambisols dienten Daten aus Shennongjia als Grundlage, da dieser Bodentyp weder in Zigui noch Xingshan detailliert beschrieben ist.



Karte 5.2: K-Werte der Böden des Arbeitsgebietes

Die Berechnung der K-Werte auf Ebene der Bodenfamilien war nicht möglich, da für einige Profile aus den Bodenfamilien Dystric Regosols (41a) und Eutric Regosols (42a, 42c) keine Daten vorliegen.³⁷

Die vollständige Liste der errechneten K-Wert zeigt Anhang C.

³⁷ Siehe Anhang C

5.2.4 LS-Faktor

Im Grunde handelt es sich bei dem LS-Faktor um zwei separate Faktoren, den L-Faktor und den S-Faktor. Sowohl die Hanglänge (L-Faktor) als auch die Hangneigung (S-Faktor) haben einen ganz erheblichen Einfluss auf die Bodenerosion durch Wasser. Beide Faktoren wurden eigenständig entwickelt, werden jedoch i. d. R. als sogenannter „Topographie-Faktor“ „LS“ zusammengefasst.

Beide Faktoren sind dimensionslos. Sie geben an, inwieweit sich der Bodenabtrag eines beliebigen Feldes von einem „Normfeld“ von 22,13 m Länge und 9% (4°) Neigung und sonst gleichen Bedingungen unterscheidet. Je nach Beschaffenheit des Geländes kann sich der LS-Faktor erosionsvermindernd oder erosionsfördernd auswirken. Ist das Gelände beispielsweise schwach bis gar nicht geneigt kann sich ein Wasserfilm bilden, der den Boden vor dem „Splash-Effekt“ schützt. Andererseits wird die Erosion in sehr stark geneigtem Gelände erheblich gefördert:

- Zunahme der Turbulenzen des oberflächlichen Abflusses → das abfließende Wasser kann mehr Feinmaterial pro Liter transportieren, und
- mit zunehmender Hangneigung steigt die hangabwärtsgerichtete Verlagerung von durch den „Splash-Effekte“ abgelösten Bodenpartikeln.

Gleiches gilt für die Hanglänge. Mit zunehmender Länge erhöht sich die Abflussgeschwindigkeit des Wasser, das dadurch mehr Feinmaterial transportieren kann.

Beobachtungen während des Aufenthaltes im Arbeitsgebiet ergaben, dass die Länge eines Feldes i. d. R. nicht über 30 m hinaus geht. Um auf der sicheren Seite zu sein, wurde in dieser Arbeit mit einer „konservativen“ Feldlänge von 50 m gerechnet. Zudem hat der L-Faktor in stark geneigten Gelände eine – im Vergleich zum S-Faktor – eher untergeordnete Rolle. Deutlich wird dies in Tabelle 5.4, in der der L-Faktor für verschiedenen Hanglängen und Hangneigungen gezeigt wird.

Tabelle 5.4: L-Werte für verschieden Hanglängen und Hangneigungen

Hanglänge	Hangneigung			
	10°	15°	20°	25°
30 m	1,19	1,21	1,23	2,00
50 m	1,63	1,67	1,74	1,76
100 m	2,47	2,65	2,77	2,85

Quelle: eigene Berechnung

In der USLE wird der LS-Faktor mit folgender Gleichung berechnet:

$$LS = (\lambda / 72,6)^m * (65,41 * \sin^2 \gamma + 4,56 * \sin \gamma + 0,065)$$

mit:

λ = Hanglänge in Fuß,

γ = Hangneigung in %, und

m = von der Hangneigung abhängige Hanglängenexponent.

Der LS-Faktor ist dimensionslos, eine Umrechnung in das metrische System ist daher nicht nötig. Lediglich die Angaben der Hangneigung wurden von Prozent in Grad umgerechnet, um einen leichteren Vergleich mit bereits zuvor präsentierten Angaben über Hangneigungen zu ermöglichen.

Der Hanglängenexponent m wird in der USLE für nur vier Hangneigungsklassen vorgegeben: < 1%, 1 bis 3 %, 3 bis 5 % und > 5 %. Dies mag für schwach geneigtes Gelände ausreichend sein (5 % Neigung entsprechen gut 2°), für ein stark geneigtes Gelände wie dem Arbeitsgebiet sind diese Vorgaben jedoch nicht befriedigend (s. Tabelle 3.5 und Tabelle 3.6). Die RUSLE liefert eine alternative Gleichung zur Berechnung des Hanglängenexponenten:

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

mit:

$$\beta = (\sin \gamma / 0,0896) / [3 * (\sin \gamma)^{0,8} + 0,56]$$

Anhand dieser Formel wurden die L-Werte in Tabelle 5.4 berechnet. In Tabelle 5.5 werden für verschiedene Hangneigungen die entsprechenden Hanglängenexponenten gezeigt.

Tabelle 5.5: Hanglängenexponent für ausgewählte Hangneigungen

Hanglängenexponent m	Hangneigung				
	2°	10°	15°	20°	25°
m	0,5	0,599	0,647	0,676	0,695

Quelle: eigene Berechnung

Für die Berechnung des LS-Faktors wurde, wie bereits erwähnt, eine Feldlänge von 50 m angenommen. D.h. es wurde also davon ausgegangen, dass etwaige hangaufwärts und hangabwärts gelegene Felder deutlich voneinander getrennt sind, z. B. durch

Ackerraine, Hecken, etc.. Ein kumulativer Effekt, der von hangaufwärts abgetragenen Bodenmaterial ausgelöst werden könnte, wird hierdurch ausgeschlossen. Grund für diese Annahme ist die Situation im erwähnten Einzugsgebiet des Xiaojiang. Von einem landwirtschaftlich genutzten Feld in einer bestimmten Lage am Hang aus gesehen, waren tiefer am Hang gelegene Felder durch intensive Bodenerosion nicht mehr nutzbar bzw. war die Bodenerosion so weit fortgeschritten dass das Ausgangsgestein anstand. Die Gebiete oberhalb eines genutzten Feldes waren dagegen noch mit dichten Waldbeständen bedeckt.

Die anschließende Berechnung wurde in ArcGIS 8.2 mit der Erweiterung „Spatial Analyst“ durchgeführt. Jedes Feld (mit der angenommenen Länge von 50 m und) mit einer beliebigen Hangneigung hat somit einen eindeutigen Wert für den LS-Faktor. In Tabelle 5.6 werden für ausgewählte Hangneigungen die LS-Werte gezeigt. Die Hangneigungen 6° und 19° wurden ausgewählt, da diese beiden Hangneigungen aus Sicht des Bodenschutzes im Allgemeinen den Übergang (in der Regel bis 6° für landwirtschaftliche Nutzung unbedenklich, ab 19° kritisch, s. Seite 24) verschiedener Bereiche charakterisieren.

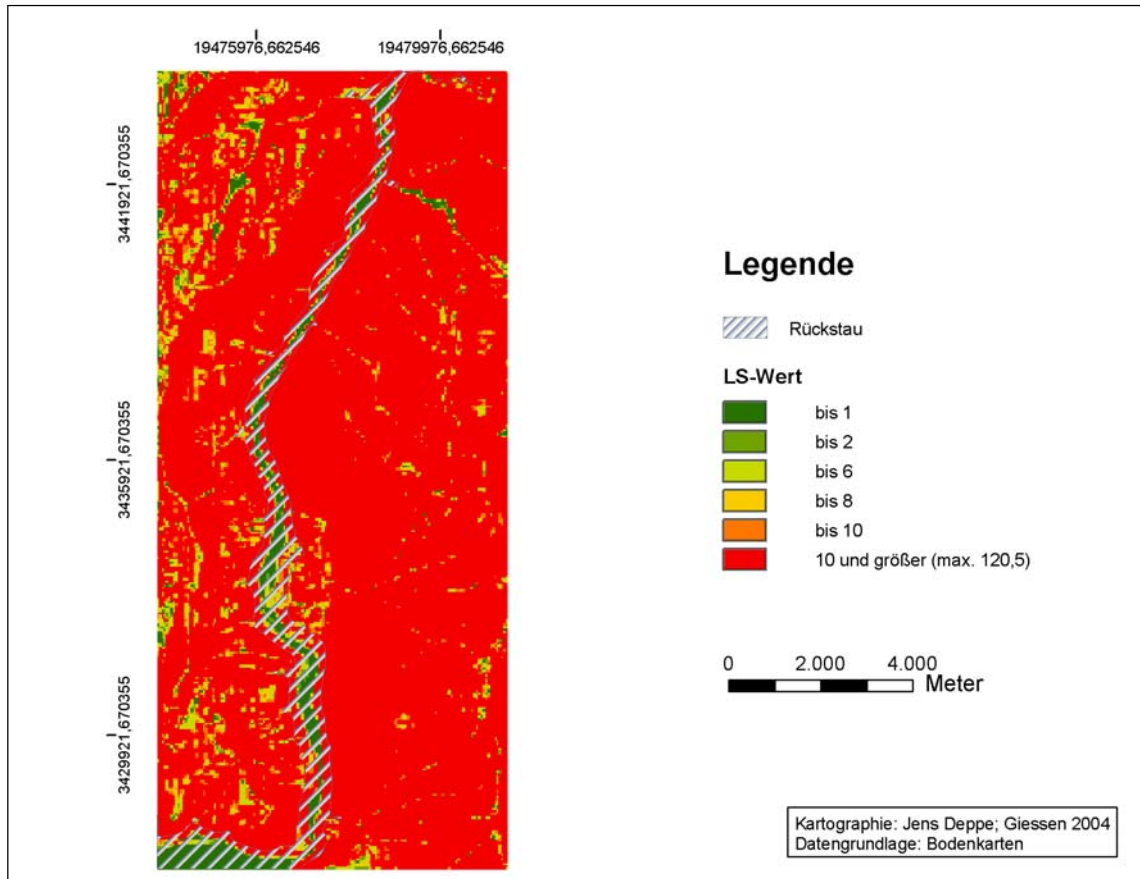
Tabelle 5.6: LS-Werte für ausgewählte Hangneigungen eines 50 m langen Feldes

	Hangneigung				
	6°	10°	15°	19°	25°
LS-Wert	1,93	4,61	11,55	14,66	24,10

Quelle: eigene Berechnung

Zu erkennen ist ein deutlicher Anstieg der LS-Werte mit zunehmender Hangneigung. Auf Grund der starken Relieferung des Arbeitsgebietes übt der LS-Faktor einen erheblichen Einfluss auf die USLE aus. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der LS-Faktor einen maßgeblichen Anteil an den zu erwartenden mittleren jährlichen Bodenabträgen hat.

Die folgende Karte 5.3 zeigt die LS-Werte für das Arbeitsgebiet. Zu erkennen ist, dass der überwiegende Teil des Arbeitsgebietes LS-Werte von 10 und größer aufweist. Dabei ist die Situation westlich des Xiangxi günstiger. Dort sind – vor allem in Kuppenlagen – deutlich mehr Gebiete, deren LS-Werte bei maximal 8 liegen.



Karte 5.3: LS-Werte für das Arbeitsgebiet

5.2.5 C-Faktor

Im Gegensatz zu den zuvor besprochenen Faktoren werden der C-Faktor und der im Anschluss besprochene P-Faktor nicht primär von den physio-geographischen Eigenschaften eines Gebietes beeinflusst. C- und P-Faktoren werden vielmehr im wesentlichen durch den Menschen bzw. die Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bestimmt.

Der Bedeckungs- und Bodenbearbeitungsfaktor C subsummiert eine ganze Reihe von Aktivitäten, die einen vermindernden oder fördernden Effekt auf die Bodenerosion haben. Dies sind beispielsweise die Art der Vegetationsdecke und die Länge der Vegetationszeit, Fruchtfolgeoperationen, Anbaupraxis und Wirtschaftsweise. Aber auch der nicht anthropogene Einfluss der Niederschlagsverteilung, insbesondere die Erosivität der Niederschläge, spielt eine gewisse Rolle bei der Berechnung des C-Faktors (AUERSWALD und SCHMIDT 1986). So bietet zum Beispiel eine ganzjährige Bewirtschaftung mit Klee gras den besten Schutz vor Bodenerosion, einen schlechten Schutz stellen Hackfrüchte dar, allen voran Mais (vgl. BLUME 1992, S. 196).

Die Werte des C-Faktors variieren zwischen 0,0004 bei einer Wiesenbewirtschaftung

und 1,0 bei einer Schwarzbrache (vgl. BLUME 1992, S.196).

In der USLE erfasst der C-Faktor die kombinierten Effekte aller in gegenseitiger Beziehung zueinander stehenden Bedeckungs- und Bewirtschaftungsvariablen. Er ist definiert als das Verhältnis der Bodenverlustrate unter bestimmten Bedingungen im Vergleich zu der Bodenverlustrate einer Schwarzbrache. Der C-Faktor ist dimensionslos. Eine Umrechnung in das metrische System war folglich nicht nötig.

Der C-Faktor des Arbeitsgebietes wurde für die dort eingesetzten Rotationssysteme Kartoffel/Mais und Weizen/Reis berechnet. Die für die Berechnung erforderliche Datengrundlage bilden die relativ genauen Zeitpunkte für bestimmte Wachstumsphasen. Die Phasen sind: Aussaat bis 10% Bedeckungsgrad des Bodens, bis 50% Bedeckungsgrad, bis 75% Bedeckungsgrad und Ernte, und schließlich die Brachezeit. Relativ genau bedeutet, das die Zeitangaben auf fünf Tage genau sein sollen. Die Tabelle 5.7 zeigt die langjährigen durchschnittlichen Wachstumsphasen für die vier wichtigsten Nutzpflanzen im Arbeitsgebiet.

Tabelle 5.7: Kulturperioden der wichtigsten Nutzpflanzen des Arbeitsgebietes

Nutzpflanze	Kulturperiode				
	Aussaat bis 10%	bis 50%	bis 75%	bis Ernte	brach
Kartoffel	27.12. – 12.01.	12.01. – 31.01.	31.01. – 21.02.	21.02. – 01.04.	01.04. – 05.04.
Mais	05.04 – 16.04.	16.04. – 05.05.	05.05. – 01.06.	01.06. – 31.08.	31.08. – 27.12.
Weizen	28.11. – 03.12.	03.12. – 22.12.	22.12. – 01.02.	01.02. – 04.05.	04.05. – 05.05.
Reis	05.05. – 15.05.	15.05. – 30.05.	30.05. – 22.06.	22.06. – 31.08.	31.08. – 28.11.

Quelle: nicht veröffentlichte Projektinformationen

Die etwas unterschiedlichen Werte in Tabelle 5.7 und Tabelle 3.17 werden dadurch verursacht, dass in Tabelle 3.17 die entsprechenden durchschnittlichen Zeitpunkte für das gesamte Projektgebiet angegeben sind, in der Tabelle 5.7 jedoch nur das eigentliche Arbeitsgebiet berücksichtigt wird.

Für diese Zeitabschnitte wurde der jeweilige Wert des C-Faktors berechnet, die Summe der jeweiligen Werte ergibt dann den jährlichen C-Faktor. Für die Berechnung des C-Faktors des jeweiligen Zeitraums sind folgende Daten nötig:

- die Erosivität der Niederschläge,
- die relative Bodenverlustrate, und

- der sogenannte „sod-factor“ (Korrekturfaktor für Unterwuchs).

Die Erosivität der Niederschläge wurde auf Grundlage der Verteilung des jährlichen R-Wertes berechnet. Dabei war die absolute Höhe des R-Faktors nicht relevant; es wurde nur die relative Verteilung berücksichtigt, d. h. der prozentuale R-Wert eines bestimmten Monats im Vergleich zum Jahres-R-Wertes. Tabelle 5.8 zeigt die absoluten und prozentualen durchschnittlichen monatlichen R-Werte für die Stationen Xia-kou und Xingshan.

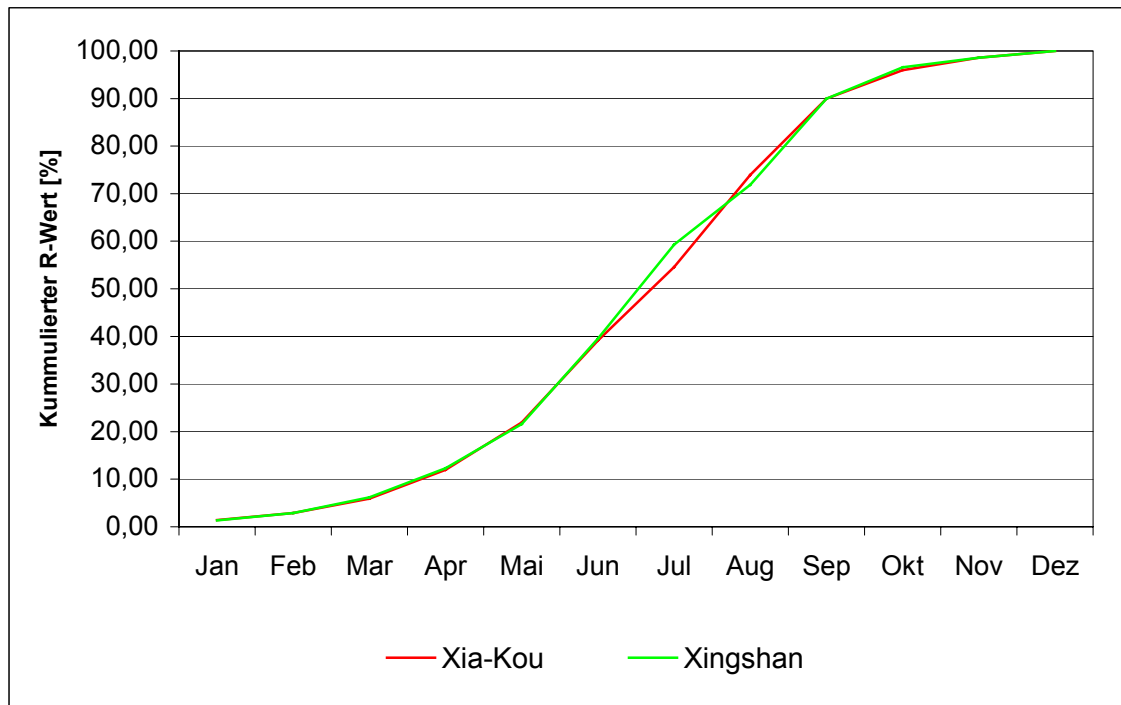
Tabelle 5.8: Absolute und prozentuale durchschnittliche monatliche R-Werte der Stationen Xia-kou und Xingshan

Monat	Xia-kou		Xingshan	
	R-Wert absolut	R-Wert [%]	R-Wert absolut	R-Wert [%]
Januar	0,15	1,40	0,11	1,37
Februar	0,24	1,50	0,21	1,49
März	1,55	3,00	1,79	3,31
April	4,26	6,09	4,24	6,16
Mai	7,65	9,97	6,91	9,25
Juni	13,99	17,22	14,46	17,99
Juli	12,38	15,38	15,92	19,69
August	15,90	19,40	9,83	12,62
September	12,90	15,98	14,51	18,05
Oktober	4,21	6,04	4,64	6,62
November	1,20	2,60	0,66	2,00
Dezember	0,16	1,41	0,17	1,44

Quelle: eigene Berechnung

Die Abbildung 5.3 (folgende Seite) zeigt die kumulativen prozentualen R-Werte der Stationen Xia-kou und Xingshan. Hierbei wird deutlich, dass der Zeitraum von April bis September einen Anteil von rund 80% an der gesamten Jahreserosivität der Niederschläge hat.

Die Erosivität der Niederschläge für die in Tabelle 5.6 aufgeführten Kulturperioden wurden durch Interpolation aus den jeweiligen Monatswerten berechnet.

Abbildung 5.3: Aufsummierte prozentuale R-Werte der Stationen Xia-kou und Xingshan

Quelle: Eigene Berechnung

Die Werte für die relative Bodenverlustrate und den „sod-factor“ für die jeweilige Kulturperiode wurden aus Tabellen der USLE entnommen.

Die Bodenverlustrate gibt an, wie hoch die Bodenerosion während einer Kulturperiode einer bestimmten Pflanze im Vergleich zu einer Schwarzbrache ist. Der „sod-factor“ gibt den erosionsmindernden Einfluss von Unterwuchs während einer Kulturperiode an.

Nachdem diese Werte berechnet bzw. aus den vorgegebenen Tabellen entnommen wurden, konnte der C-Faktor durch Multiplikation der Teilkomponenten berechnet werden. Tabelle 5.9 zeigt das Endergebnis dieser Berechnungen.

Tabelle 5.9: Werte des C-Faktors für Kulturpflanzen im Arbeitsgebiet

	Wert des C-Faktors für					
	Kartoffel	Mais	Weizen	Reis	Rotation Kart./Mais	Rotation Weizen/Reis
R-Werte	0,014	0,122	0,009	0,120	0,25	0,18

Quelle: eigene Berechnung

Zur Tabelle 5.9 ist anzumerken, dass die Werte des C-Faktors für die jeweiligen Rotationen auch die Brachezeiten zwischen den Anbauwechseln berücksichtigen.

Des weiteren muss angemerkt werden, dass es zu einer Veränderung der Marktpreise der landwirtschaftlichen Produkte kommen kann. Dies kann dazu führen, dass die Bauern andere Kulturpflanzen anbauen. Dies führt dann zu einer Änderung der Rotationssysteme.

5.2.6 P-Faktor

Der P-Faktor subsummiert die Effekte eventuell angewandter Erosionsschutzmaßnahmen. Dazu zählen unter anderem hangparalleles Pflügen, Terrassierung und Konturstreifenanbau (BLUME 1992, HUDSON 1971). Der P-Faktor gibt dabei das Verhältnis des Bodenabtrags von hangabwärts bearbeiteten Feldern im Vergleich zu Feldern mit verschiedenen Erosionsschutzmaßnahmen bei sonst gleichen Bedingungen an. Im ungünstigsten Fall werden keine Schutzmaßnahmen ergriffen, der Wert für den P-Faktor beträgt dann 1. Für diese Arbeit wurde mit den Werten 1 und 0,9 gearbeitet.

Der Wert „1,0“ lässt sich aus folgenden Überlegungen ableiten:

- Während des Aufenthaltes im Projekt- und Arbeitsgebietes wurde deutlich, dass trotz relativ großer Ackerflächen auf teilweise stark geneigten Hängen keinerlei erosionsmindernden Maßnahmen angewandt wurden (s. BILD 5.1 und 5.2),
- Eine Analyse des in der Einleitung erwähnten Beispiels des Xiaojiang-Einzugsgebietes zeigte, dass trotz einer erheblichen Bodenerosion keine Schutzmaßnahmen ergriffen wurden.

Der P-Faktor ist dimensionslos. Eine Umrechnung in das metrische System ist somit nicht notwendig.

Das Bild 5.1 zeigt eine Szene aus dem Arbeitsgebiet. Zu erkennen sind die steilen Hänge mit landwirtschaftlicher Nutzung und das hangparallele Pflügen. Die terrassierten Felder im linken Bildbereich sind in Tallage und werden bzw. wurden durch den Rückstaus überflutet.



Bild 5.1: Landwirtschaftliche Nutzung von Hängen am Mittellauf des Xiangxi; eigene Aufnahme, April 2001

Bild 5.2 zeigt eine Ausschnittsvergrößerung des Bilds 5.1 gelb markierten Rechtecks.

Auf beiden Bildern, vor allem aber auf der Ausschnittsvergrößerung, ist zwar eine hangparallele Nutzung zu sehen, diese wurde jedoch in der vorliegenden Arbeit nur bedingt berücksichtigt.



Bild 5.2. Vergrößerter Ausschnitt aus Bild 5.1

Die USLE stellt Werte für den P-Faktor bei hangparalleler Bearbeitung zur Verfügung. Jedoch wird in der USLE davon ausgegangen, dass bei steigender Hangneigung die maximale Hanglänge reduziert werden muss, um durch hangparalleles Bewirtschaften einen erosionsmindernden Effekt zu erreichen. Die USLE geht beispielsweise bei einer Hangneigung von über $11,25^\circ$ davon aus, dass die Feldlänge nicht größer als 16,6 m sein darf, um einen effizienten erosionsvermindernden Effekt zu erzielen.

Da in dieser Arbeit jedoch mit einer Standardfeldlänge von 50 m gearbeitet wurde und der Großteil des Arbeitsgebietes eine größere Hangneigung als $11,25^\circ$ aufweist, wurde nach den Vorgaben der ULSE-Anleitung mit einem Wert von 1,0 für den P-Faktor gerechnet.

Allerdings ist davon auszugehen, dass hangparalleles Bewirtschaften im Vergleich zu einer rein hangabwärts gerichteten Bewirtschaftung zumindest einen kleinen erosionsmindernden Effekt aufweisen wird. Daher wurden in dieser Arbeit auch Berechnungen mit dem Wert 0,9 für den P-Faktor durchgeführt. KIRBY und MORGAN (1980) gehen in ihrer Arbeit von der selben Methodik zur Ermittlung des P-Faktors in Abhängigkeit von der Hangneigung aus und benutzten bei gleicher Hangneigung ebenfalls den Wert 0,9 für den P-Faktor, jedoch verzichteten sie auf eine Einschränkung der maximalen Hanglänge (vgl. BLUME 1992, S.197).

5.3 Methodik der Untersuchung potenzieller Ausweichflächen

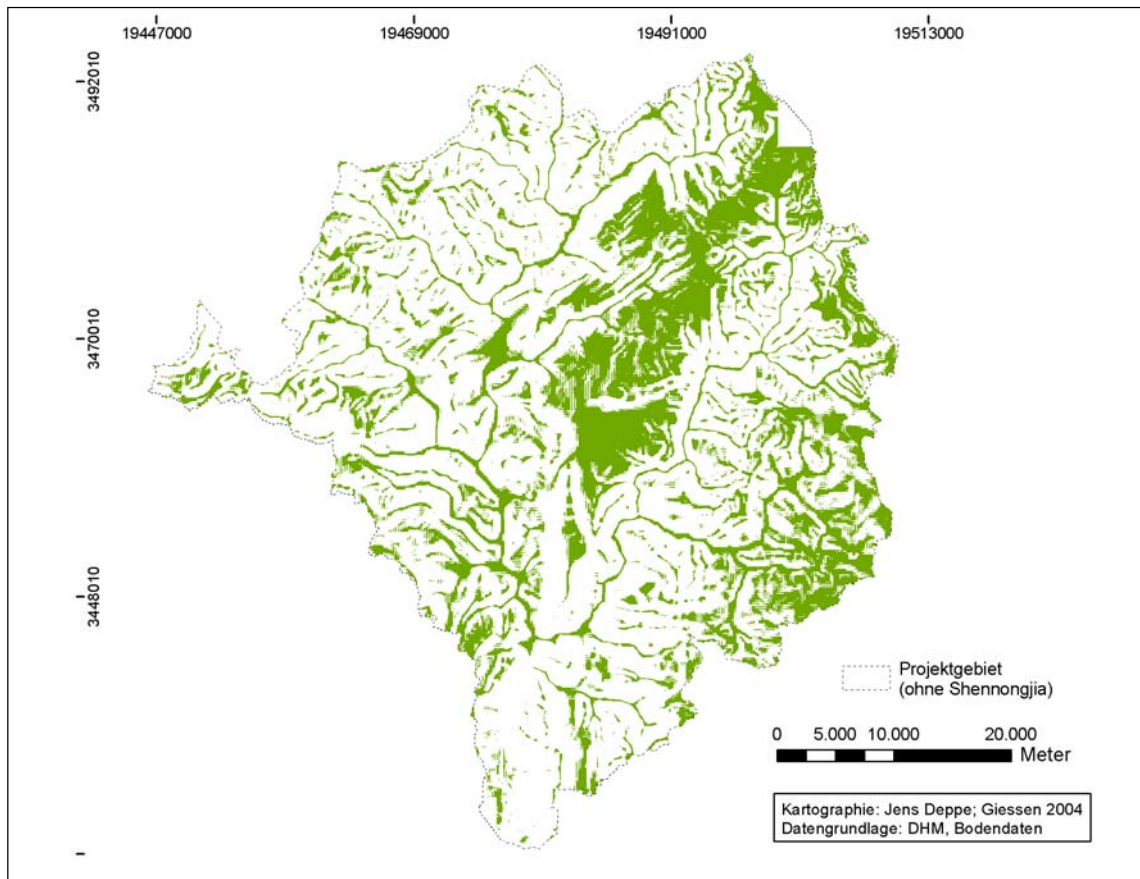
Die Suche nach geeigneten Ausweichflächen erfolgte durch eine GIS-gestützte Rasteranalyse mit Hilfe von ArcMap. Das Gebiet wurde dabei einem Schrittweisen Ausschlussverfahren unterzogen, das in der angelsächsischen Literatur als „sieve-mapping“ bezeichnet wird.

Bei dieser Methode wird das Untersuchungsgebiet Rasterzelle für Rasterzelle schrittweise auf die Erfüllung bzw. Nichterfüllung bestimmter Ausschlusskriterien untersucht. Hierbei entsteht für jedes Auswahlkriterium zunächst eine sogenannte „Bool'sche Rasterkarte“. Alle Rasterzellen, die die untersuchte Bedingung erfüllen, erhalten den Wert „1“, alle anderen den Wert „0“. Im abschließenden Analyseschritt werden die Einzelkarten mit Hilfe sogenannter „Map Algebra“-Funktionen kombiniert. Übrig bleibt eine Endkarte, die wiederum aus Rasterzellen mit dem Wert „1“ oder „0“ besteht. Die Rasterzellen mit dem Wert „1“ markieren die Flächen die alle Filterkriterien erfüllen. Alle anderen Rasterzellen (Wert „0“) sind an mindestens einem der Auswahlkriterien gescheitert!

Grundvoraussetzung war, dass mögliche Ausweichflächen über einer Höhe von 175 m über Meeresspiegel liegen müssen, d.h. dass diese Flächen vom Rückstau des Dreischluchten-Staudamms nicht betroffen werden. Das Projektgebiet (ohne Shennongjia) wurde dann schrittweise nach den folgenden drei Kriterien gefiltert:

1. geeignete Hangneigung,
2. geeigneter Bodentyp,
3. ausreichende Größe.

Im ersten Schritt wurden Flächen ermittelt, die eine für landwirtschaftliche Nutzung geeignete Hangneigung aufweisen. Als maximale Hangneigung wurde ein Wert von 12° gewählt. Bei der Auswahl eines geeigneten Wertes für die Hangneigung wurde die starke Relieferung des Projektgebietes in Betracht gezogen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass Flächen mit einer für landwirtschaftliche Nutzung günstigen Neigung (bis 6°, vgl. Tab. 3.7) nicht vorhanden sind bzw. bereits landwirtschaftlich genutzt werden. Die Hangneigung bis 12° wurde gewählt, da Flächen mit dieser Neigung aus Sicht des Bodenschutzes in der Mitte des Bereiches liegen, der für eine landwirtschaftliche Nutzung noch bedingt geeignet ist. Die so erhaltenen Flächen (Hangneigung $\leq 12^\circ$) wurden anschließend für die weiteren Analysen verwendet, alle übrigen Flächen wurden aussortiert. Karte 5.4 (folgende Seite) zeigt das Ergebnis dieses ersten Arbeitsschrittes.



Karte 5.4: Flächen mit einer Hangneigung $\leq 12^\circ$ im Projektgebiet (ohne Shennongjia)

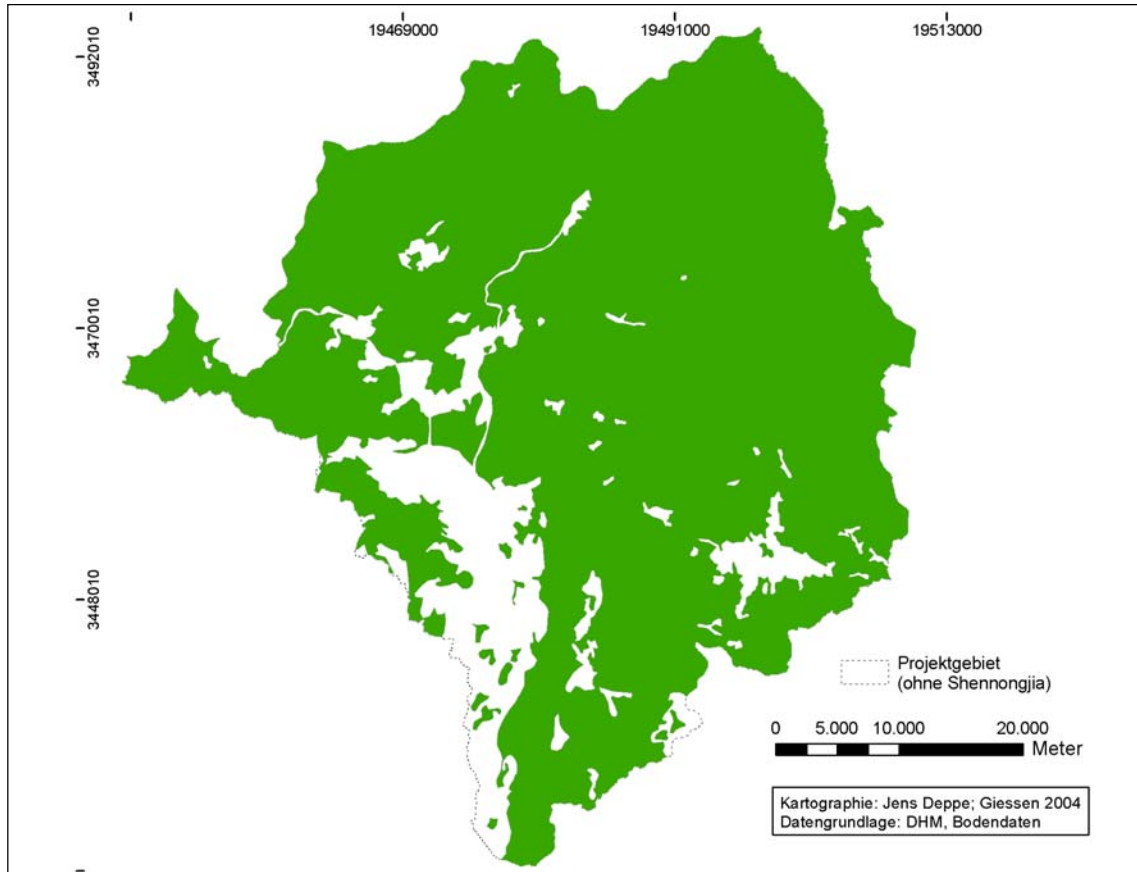
Der zweite Arbeitsschritt bezog nun die Böden mit ein. Vorgabe war hier, dass eine landwirtschaftliche Nutzung möglich ist, ohne dass ein größerer Aufwand (intensive Düngung, Entwässern, etc.) notwendig wird. Tabelle 5.10 zeigt die Böden, die unter diesen Kriterien als „geeignet“ angesehen werden können.

Tabelle 5.10: Landwirtschaftlich leicht nutzbare Böden im Projektgebiet (ohne Shennongjia)

FAO-Nomenklatur	CSTC-Nomenklatur (engl. Übersetzung)
Cambisols	„meadow dark brown soils“ „mountainous brown soils“ „mountainous yellow brown soils“ „yellow brown soil“ „yellow brown soil like soil“
Fluvisols	„chao soils“ „permeable paddy soils“
Luvissols	„brown limestone soils“ „mountainous brown soil like soil“
Vertisols	„bleaching dark brown soil“

Quelle: eigene Untersuchung

Die Bodenkarte des Projektgebietes wurde nun entsprechend in „geeignete“ und „ungeeignete“ Böden reklassifiziert. Alle geeigneten Böden wurden in Klasse A (Wert „1“, in Karte 5.5 grün dargestellt), alle nicht geeigneten in Klasse B (Wert „0“) zusammengefasst. Die Karte 5.5 zeigt das Ergebnis dieser Reklassifizierung. Shennongjia wurde - wie schon im ersten Schritt - von der Untersuchung ausgenommen.



Karte 5.5: Landwirtschaftlich nutzbare Böden im Projektgebiet (ohne Shennongjia)

Ein Vergleich der Karten 5.4 und 5.5 zeigt bereits, dass in erster Linie die Flächen mit geeigneter Hangneigung den limitierenden Faktor darstellen, während die Böden in ca. 80% des Gebietes prinzipiell geeignet sind.

Der abschließende Arbeitsschritt bestand nun darin, diejenigen Flächen auszufiltern, die beide der oben beschriebenen Bedingungen erfüllen und darüber hinaus noch eine ausreichende Flächengröße aufweisen. Durch die Überflutung des Rückstaus gingen im Arbeitsgebiet 12,3 km², zusammenhängender landwirtschaftlicher Nutzfläche verloren. Dass heißt, alle Flächen, die kleiner waren als 12,3 km² wurden aussortiert. Ausgenommen wurden Flächen, die zwar kleiner waren, aber in deren unmittelbarer Nähe weitere kleinere Flächen vorhanden sind, wenn diese in der Summe wieder eine Mindestflächengröße von 12,3 km² aufweisen und voneinander nur durch kleinere

Hindernisse (wie beispielsweise Wege) getrennt sind.

Das Endergebnis der Analyse wird im Ergebnisteil der Arbeit (Kap. 6) im Detail vorgestellt und diskutiert.

5.4 Kritische Betrachtung der Methodik und der Anwendung der USLE

In diesem Teil wird die gewählte Methodik kritisch betrachtet und bewertet, sowohl die Anwendung der USLE im Allgemeinen als auch die Berechnung der einzelnen Faktoren. Nachfolgend werden jedoch nur die Faktoren noch einmal angesprochen, die sich in ihrer Berechnung bzw. Umsetzung als problematisch erwiesen.

Allgemeines

Streng genommen liefert die ULSE keine absolut exakten Werte im Hinblick auf einen langjährigen mittleren Bodenabtrag in Tonnen pro Hektar. Die ULSE liefert eher eine Art Kennwert, mit dem sich der Bodenabtrag einer bestimmten landwirtschaftlichen Nutzung mit dem einer anderen Nutzungsart vergleichen lässt. Dies ermöglicht eine für den Bodenschutz günstige Landnutzungsplanung (mündliche Mitteilung von Dr. Konrad Mollenhauer, Giessen 28.06.2004).³⁸

Ein weitere, weit wichtigere Einschränkung ergibt sich durch die Anwendung der USLE auf Gebiete außerhalb der USA. Die USLE wurde für Gebiete im Mittleren Westen der USA entwickelt. Um die USLE auf Gebiete außerhalb dieses Gebietes anzuwenden, müsste die Formel eigentlich auf die dort herrschenden Bedingungen kalibriert werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass in dieser Arbeit zwar die einzelnen Faktoren recht genau berechnet wurden, deren Gewichtung in der Gleichung allerdings für das Arbeitsgebiet nicht zwangsläufig passend ist. Schwertmann modifizierte beispielsweise die USLE für den bayrischen Raum (SCHWERTMANN 1990). Eine derartige Kalibrierung an chinesische Verhältnisse, und speziell an die in der Region des Xiangxi-Einzugsgebietes herrschenden Bedingungen, steht jedoch bisher noch aus und würde umfangreiche Vorstudien erfordern.

Vor diesem Hintergrund und auch infolge der nicht sehr detaillierten Datengrundlage kann diese Arbeit daher keine absoluten Bodenabtragswerte liefern, sondern lediglich einen relativen Vergleich der zur erwartenden Bodenverluste bei der Bewirtschaftung der jeweiligen wichtigsten landwirtschaftlichen Anbauprodukte liefern. Dies sollte bei der Bewertung und Interpretation der im folgenden Kapitel präsentierten Ergebnisse stets berücksichtigt werden.

³⁸ Dr. K. Mollenhauer ist auf Grund jahrzehntelanger Forschung im Bereich Bodenerosion einer der führenden deutschen Fachleute auf diesem Gebiet.

K-Faktor

Wie bei der Ermittlung des K-Wertes bereits erwähnt, war die Datengrundlage für die Berechnung lückenhaft. Einige Bodeneigenschaften, die erosionsmindernd oder erosionsfördernd wirken können, gingen nicht in die Berechnung ein (z.B. Steingehalt). Dies führt zwangsläufig zu einer gewissen Verfälschung der ermittelten K-Werte. Da sich die berechneten K-Werte jedoch innerhalb einer sehr engen Spannbreite bewegen ist von diesem Fehler kein wesentlicher Einfluss auf das Endergebnis zu erwarten.

R-Faktor

Die Berechnung des R-Faktors mit Hilfe des modifizierten FOURNIER-Indexes wurde in zwei Rechenschritten durchgeführt. Der erste Schritt bestand in der Ermittlung des FOURNIER-Index, im zweiten Schritt wurde dieser Index durch eine Funktion „modifiziert“. Diese Funktion des Indexes drückt sich in der Beziehung zwischen den (mit dem Index) berechneten und den im Untersuchungsgebiet real gemessenen R-Werten aus. Streng genommen dürfte diese Beziehung, d.h. die Funktion des FOURNIER-Indexes, ohne Kalibrierung mit Messungen vor Ort nicht einfach in dieser Arbeit übernommen werden. Die Methodik zur Berechnung des R-Wertes mit Hilfe des modifizierten FOURNIER-Indexes wurde aus DVWK SCHRIFTEN 86 (DVWK 1990) entnommen. Das Untersuchungsgebiet war dort der Vogelsberg. Im Vogelsberg herrschen ähnliche klimatische und morphologische Bedingungen (Reliefanstieg in Bewegungsrichtung der regenbringenden Tiefdruckgebiete) wie im Arbeitsgebiet. Daher wurde angenommen, dass die Beziehung hergestellt werden kann und die Berechnung sinnvolle Ergebnisse liefern wird. Die berechneten Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen aus dem Vogelsberg und den Ergebnissen der Arbeit von CHRISTIANSEN 1982 verglichen. Dabei wurde eine ausreichend hohe Genauigkeit festgestellt.³⁹

Für die Korrelation der R-Werte mit der Höhe der einzelnen Messstationen über NN und die daran anschließende flächenhafte Interpolation sind nach Einschätzung des Autors rund 25 bis 30 Stationen nötig, um eine genaue Korrelation und Interpolation zu gewährleisten. Jedoch standen Daten von lediglich acht Stationen für diese Arbeit zur Verfügung.

P-Faktor

Das Hauptproblem, das hier bei auftrat war die bereits erwähnte Nichtberücksichtigung der USLE von hangparallelen Pflügen bei Hangneigung ab 11,25° und einer größeren

³⁹ T. Christiansen wendete in seiner Arbeit die USLE in einem Gebiet im Nordwesten Indiens an, das ähnliche klimatische und morphologische Bedingungen aufweist, wie das Projektgebiet dieser Arbeit.

Feldlänge von 16,6 m. Jedoch hat hangparalleles Pflügen eine gewisse erosionsmindernde Wirkung und gilt als eine der drei wichtigsten Erosionsschutzmaßnahmen (vgl. BLUME 1992, S. 196f). Bild 5.1 zeigt zudem die großflächige und durchaus als zielgerichtet anzusehende Anwendung des hangparallelen Pflügens. Diese Tatsache und der Verzicht von KIRBY und MORGAN auf eine von der Hangneigung abhängige maximale Feldlänge führten dazu, dass in die Berechnungen auch der P-Wert 0,9 einging.

Die Informationen über den Wechsel von Nassreisanbau in Tallagen und Trockenreisanbau in Hanglagen stammen aus persönlichen Gesprächen mit chinesischen Projektpartnern.

6 Vorhandene Bodenressourcen und Erosionsgefährdung

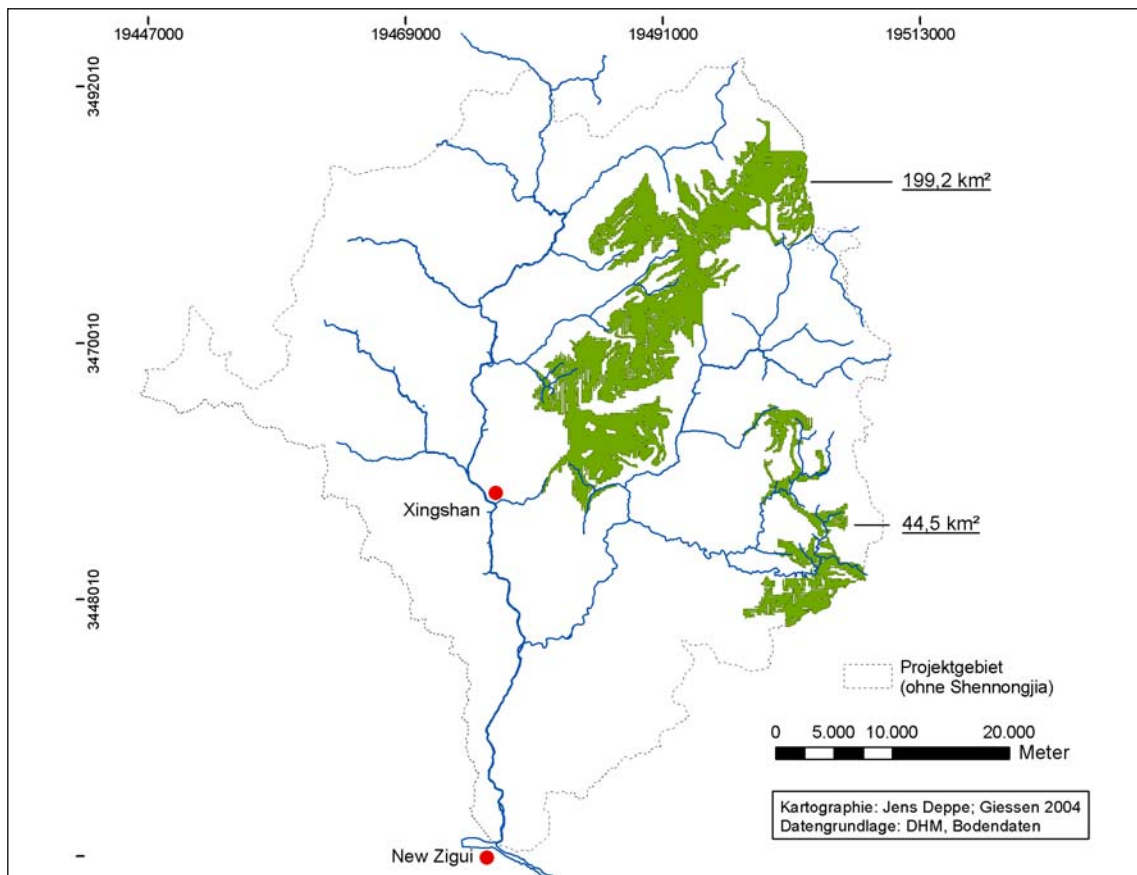
Dieses Kapitel präsentiert die eigentlichen Berechnungsergebnisse dieser Arbeit. Im ersten Teil wird die Analyse des Projektgebietes nach geeigneten Ausweichflächen präsentiert. Der zweite Teil bildet den Schwerpunkt dieses Kapitels. Hier werden die Berechnungsergebnisse bei der Anwendung der USLE gezeigt.

6.1 Potenzielle Ausweichflächen

Ein wichtiges Teilziel dieser Arbeit war die Identifizierung potenzieller Ausweichflächen für die landwirtschaftlichen Nutzflächen, die durch die Überflutung verloren gingen.

Im vorherigen Kapitel wurden die Auswahlkriterien für potenzielle Ausweichflächen bereits ausführlich erläutert.

Das in Kap. 5.3 beschriebene GIS-gestützte Ausschlussverfahren ergab, dass 243,7 km² (= 150% der Gesamtfläche des Arbeitsgebietes) die drei Kriterien „geeignete Hangneigung“, „geeigneter Boden“ und „hinreichende Flächengröße“ erfüllen. Karte 6.1 zeigt die räumliche Verteilung dieser potenziellen Ausweichflächen.



Karte 6.1: Potenzielle Ausweichflächen im Projektgebiet (ohne Shennongjia)

Karte 6.1 zeigt, dass sich die zur Verfügung stehenden 243,7 km² auf zwei Gebiete verteilen. Das größere Gebiet (Mitte bis nordöstlicher Teil des Projektgebietes) weist eine Fläche von 199,2 km² auf. Das kleinere Gebiet (Südosten des Projektgebietes) umfasst eine Fläche von 44,5 km².

Die so ausgefilterten potenziellen Ausweichflächen stehen jedoch nur theoretisch zur Verfügung. Theoretisch deshalb, da diese Flächen „nur“ auf die drei Kriterien (Hangneigung, Bodentyp, Größe) hin ermittelt wurden. In einem weiteren Schritt müssen diese Flächen dann „manuell“ anhand einer aktuellen Landnutzungskarte auf die bereits vorhandene Nutzung und die Anbindung an Verkehrswege untersucht werden.⁴⁰ Der logistische Aufwand, der auf einen Bauer zukommt, um seine Felder beispielsweise mit Saatgut oder Dünger zu versorgen bzw. die Ernte von seinen Feldern zum Markt zu bringen, sollte in einem zumutbaren Rahmen bleiben. Inwieweit der jeweilige Aufwand für eine bestimmte potenzielle Ausweichfläche zumutbar wäre müsste separat untersucht werden. Dies war jedoch nicht Teil dieser Arbeit

Eine weitere zu untersuchende Frage wäre die Realisierbarkeit einer evtl. notwendigen Umsiedlung von Bauern. Die größte Entfernung, die ein Bauer, der seine Felder im Unterlauf verloren hat, zurücklegen müsste, um zu den potenziellen Ausweichflächen zu gelangen, beträgt rund 80 km (Mündung des Xiangxi in den Yangtze bis zum nordöstlichsten Teil der Ausweichflächen).

Zumindest entlang der Flüsse sind Strassen vorhanden, die auch von (kleineren) Lastkraftwagen genutzt werden können (eigene Beobachtung während des Aufenthaltes im Projektgebiet). Eine Verkehrstechnische Anbindung der potenziellen Ausweichflächen wäre also zumindest technisch machbar.

6.2 Klassifikation des Bodenverlustes und Ergebnis der ABAG

Die Ergebnisse der ABAG-Berechnung lieferten den mittleren langjährig zu erwartenden Bodenabtrag in Tonnen / Hektar * Jahr. Je nach Höhe der Faktoren ergab sich hierbei eine sehr weite Bandbreite von weniger als einer Tonne pro Hektar und Jahr bis zu über 170 Tonnen pro Hektar und Jahr. Für eine bessere Handhabung der Ergebnisse, wurden diese in drei Klassen generalisiert. Weder die USLE noch die RUSLE enthalten hierzu genaue Vorgaben. Einzig verwertbare Aussage ist, dass ein Bodenverlust von zwei bis fünf Tonnen pro Jahr und Hektar bei mittel- bis tiefgründigen Böden tolerierbar ist. Aus diesem Grund wurde eine Einteilung in Anlehnung an eine deutsche Untersuchung gewählt, die zumindest in der ersten Klasse der USLE/RUSLE

⁴⁰ Diese weiterführende Untersuchung konnte in dieser Arbeit nicht durchgeführt werden, da keine Landnutzungskarte mit ausreichend genauer Auflösung zur Verfügung stand.

sehr ähnlich ist (vgl. KUNTZE et al. 1994, S. 360). Die Tabelle 6.1 zeigt die Einteilung in drei Erosionsklassen.

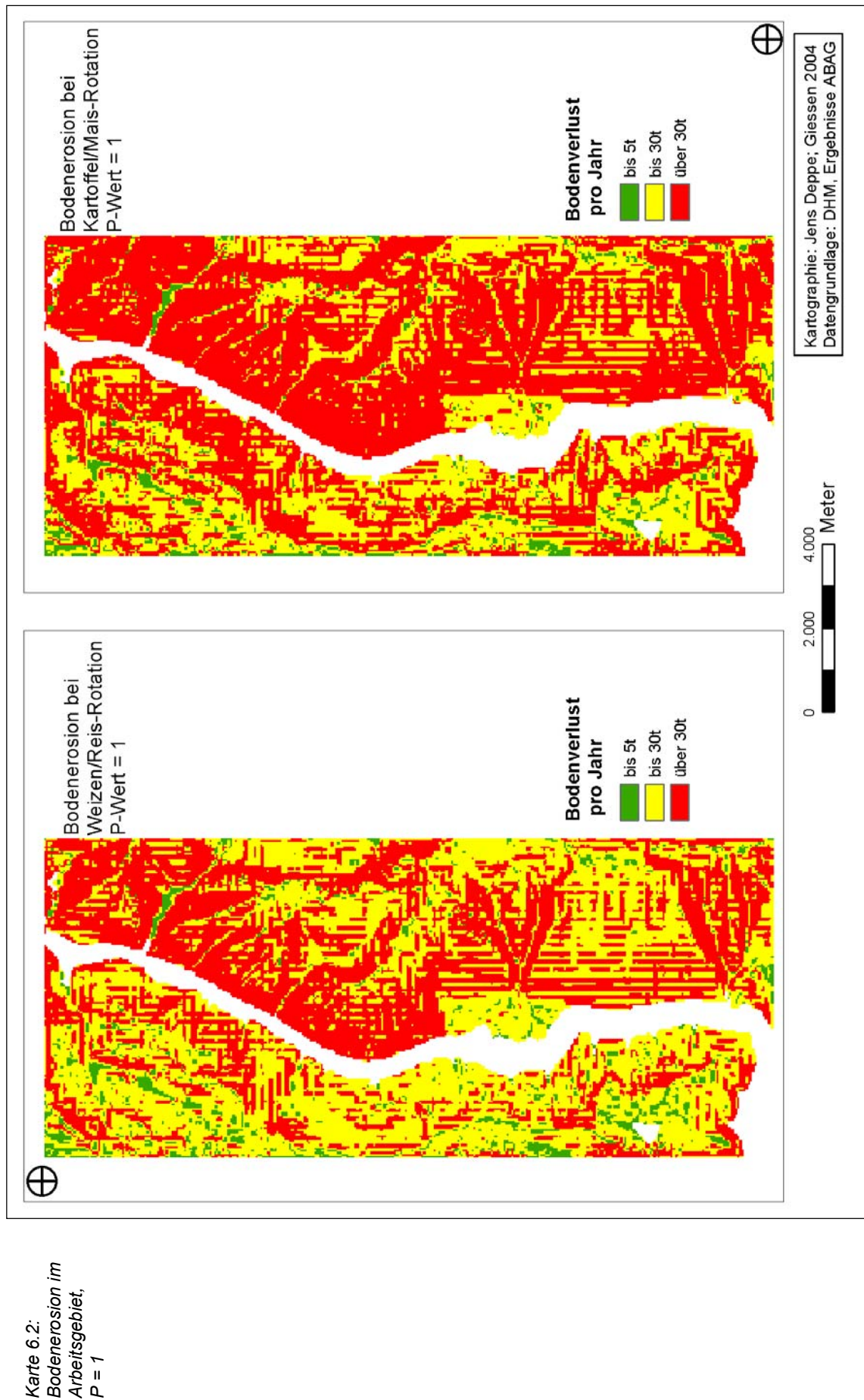
Tabelle 6.1: Einteilung der Bodenverlustrate

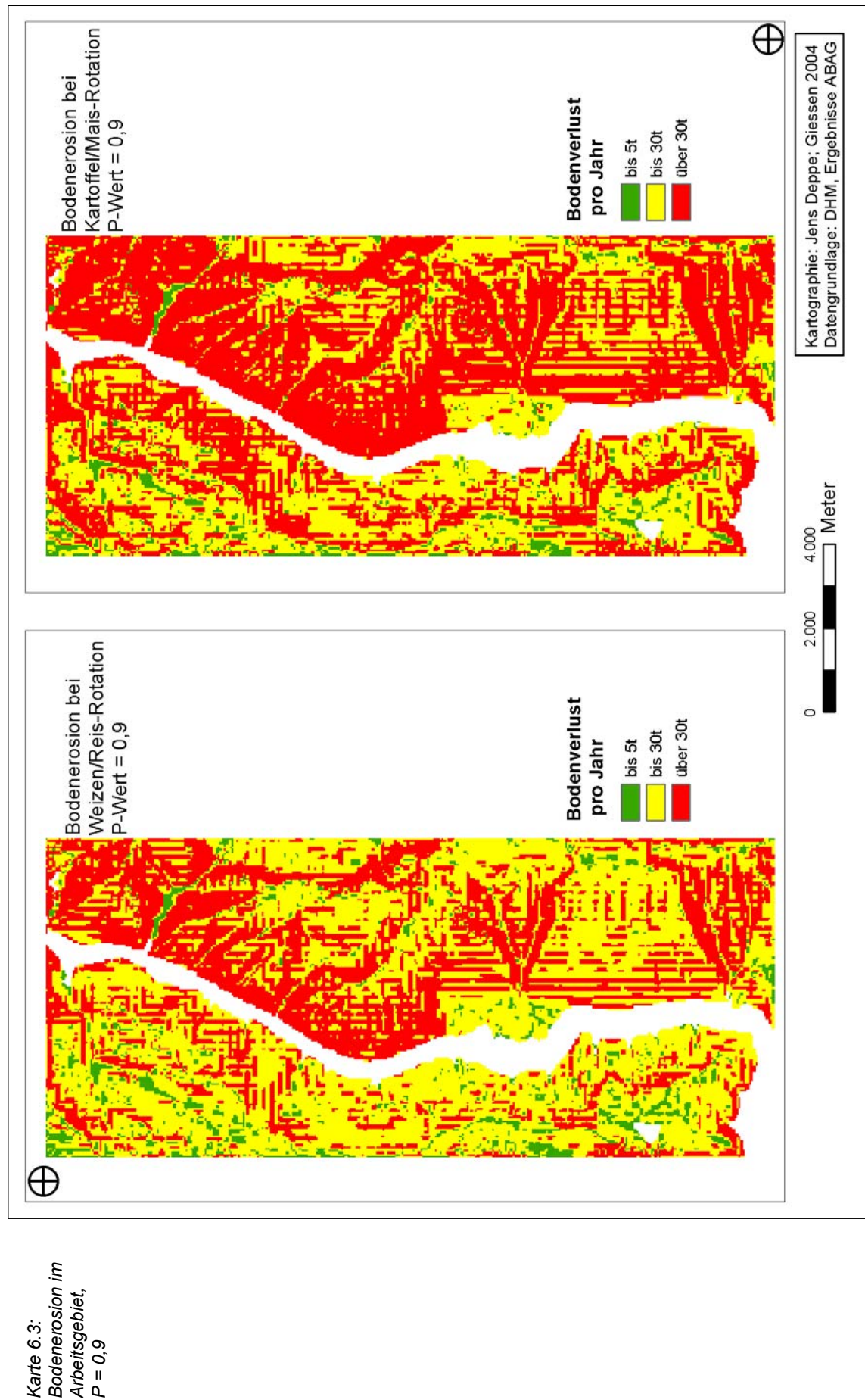
Bodenverlustrate [t / ha * a]	Erosionsgefährdung	Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen
0,03 bis 5	gering	nicht nötig
5 bis 30	mittel bis hoch	erforderlich
30 und größer	sehr hoch	dringend erforderlich

Quelle: eigene Einteilung auf Grundlage von KUNTZE et al. 1994

Auf Grundlage dieser drei Klassen wurden die zu erwartenden Bodenverlusten generalisiert. Die Karten 6.2 und 6.3 zeigen diese Klasseneinteilung für das Arbeitsgebiet. Für Karte 6.2 wurde ein P-Faktor von 1 angenommen, bei Karte 6.3 betrug der Wert 0,9. Die GIS-gestützten Berechnungen wurden für jede Zelle einzeln durchgeführt. Eine Zelle entspricht einem Feld mit der Kantenlänge 50 * 50 m (vgl. S. 77). Des weiteren wurde bei der Berechnung davon ausgegangen, dass das gesamte Arbeitsgebiet in landwirtschaftliche Nutzflächen umgewandelt wird.

Die der Arbeit separat beigelegte Folie kann mit Hilfe der Passpunkte über die Karten 6.2 und 6.3 gelegt werden um die physiogeographische Situation (Höhenlinie, Flusslauf, etc.) zu verdeutlichen.





Die Tabellen 6.2 und 6.3 zeigen jeweiligen Flächenanteile der drei Klassen. Wie auch in den Karten werden jeweils die beiden Rotationssysteme miteinander verglichen.

Tabelle 6.2: Bodenerosion der jeweiligen Rotationssysteme mit P-Wert = 1

Bodenerosionsrate	Absolute und <i>prozentuale</i> Größe der betroffenen Flächen	
	Weizen/Reis-Rotation	Kartoffel/Mais-Rotation
Bis 5 t	7,9 km ² 4,9%	5,6 km ² 3,4%
5 t bis 30 t	83,3 km ² 51,2%	56,6 km ² 34,8%
30 t und mehr	71,4 km ² 43,9%	100,6 km ² 61,8%

Quelle: Ergebnis der ABAG-Berechnung

Tabelle 6.3: Bodenerosion der jeweiligen Rotationssysteme mit P-Wert = 0,9

Bodenerosionsrate	Absolute und <i>prozentuale</i> Größe der betroffenen Flächen	
	Weizen/Reis-Rotation	Kartoffel/Mais-Rotation
Bis 5 t	9,2 km ² 5,7%	6,3 km ² 3,9%
5 t bis 30 t	93,1 km ² 57,2%	65,1 km ² 40,0%
30 t und mehr	60,4 km ² 37,1%	91,3 km ² 56,1%

Quelle: Ergebnis der ABAG-Berechnung

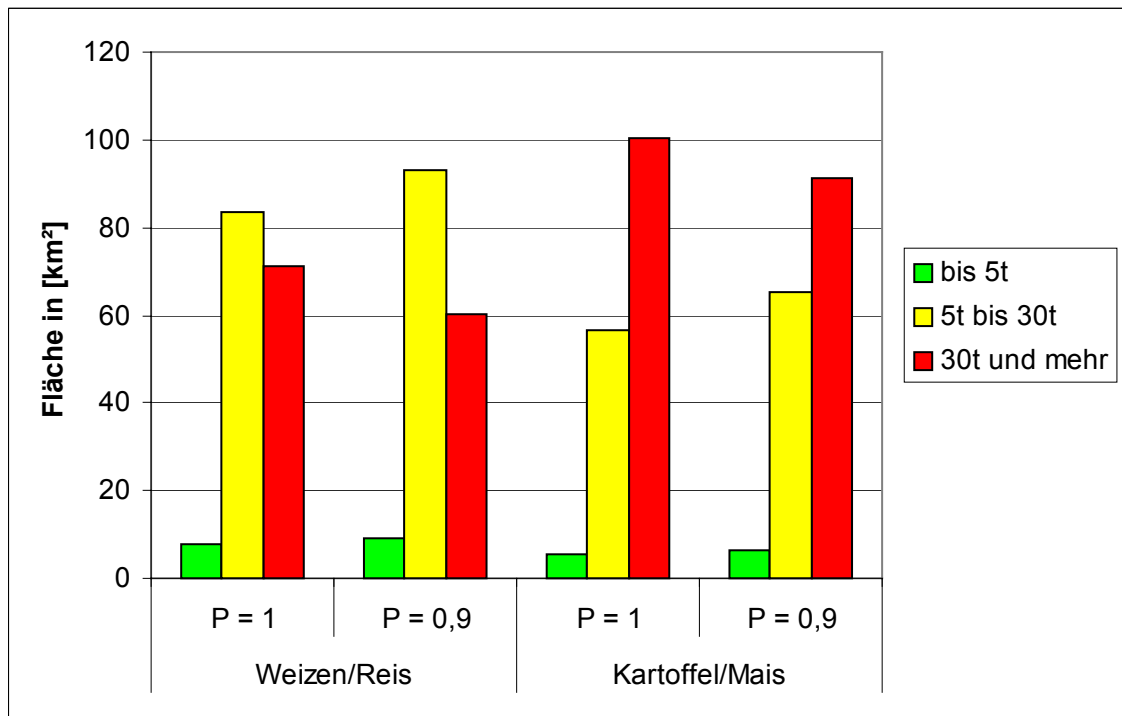
Die geringste Erosionsrate beträgt bei beiden Rotationssystemen etwas mehr als 0,03 Tonnen pro Hektar und Jahr und zwar fast unabhängig vom verwendeten P-Wert. Erst in der dritten Nachkommastelle treten hier Unterschiede zwischen den Berechnungen mit P-Wert 1,0 und 0,9 auf. Die jeweils absolut höchsten Erosionsraten für beide Parameter zeigt Tabelle 6.4.

Tabelle 6.4: Höchstwerte der Bodenerosion

P-Wert	Weizen/Reis-Rotation	Kartoffel/Mais-Rotation
1	126 t	170 t
0,9	113 t	154 t

Quelle: Ergebnis der ABAG-Berechnung

Die Abbildung 6.1 auf der folgenden Seite zeigt die Ergebnisse nochmals graphisch.

Abbildung 6.1: Ergebnis der ABAG-Berechnung

Quelle: Ergebnis der ABAG-Berechnung

Betrachtet man nur die Flächen, die eine unproblematische Erosionsrate von weniger als fünf Tonnen aufweisen, wird deutlich, dass sich die Ergebnisse für die beiden Rotationssystemen und den dabei verwendeten Anbaumethoden (hangparalleles/hangabwärtsgerichtetes Pflügen) nicht sehr stark unterscheiden. Die Flächen sind annähernd gleich häufig vertreten. Der Einfluss der Anbaumethode ist zwar nachweisbar, aber insgesamt doch recht gering.

Im Gegensatz dazu treten bei Erosionsraten von fünf Tonnen oder mehr deutliche Unterschiede bei den Anbaumethoden und Anbauprodukten auf. Bei der Kartoffel/Mais-Rotation sind mehr als 50% der Flächen von einer Erosionsrate von mehr als 30 t betroffen. Im Gegensatz dazu erfahren bei der Weizen/Reis-Rotation 50% und mehr der Flächen eine Erosionsrate von 5 t bis 30 t. Vergleicht man die Rate der Kartoffel/Mais-Rotation bei hangparallelen Pflügen wird deutlich, dass die hangabwärtsgerichtete Bodenbearbeitung der Weizen/Reis-Rotation deutlich geringere Erosionswerte aufweist.

In erster Linie ausschlaggebend für die Erosionsrate ist eindeutig das Relief bzw. der LS-Faktor. Die Karten 6.2 und 6.3 sowie die Abbildungen 6.2 und 6.3 machen deutlich, dass die Erosionsrate in den Kuppen- und Tallagen am geringsten ist und die Flächen mit starker Neigung die höchsten Erosionsraten unterliegen. Dabei weist der vom Xiangxi aus gesehen westliche Teil des Arbeitsgebietes geringere Bodenerosionsraten auf als der östliche Teil.

Die Abbildungen 6.2 und 6.3 zeigen diese Situation nochmals als dreidimensionale Ansicht für die Kartoffel/Mais-Rotation mit $P = 1$ (höchste Erosionsraten) und für die Weizen/Reis-Rotation mit $P = 0,9$ (geringste Erosionsraten).

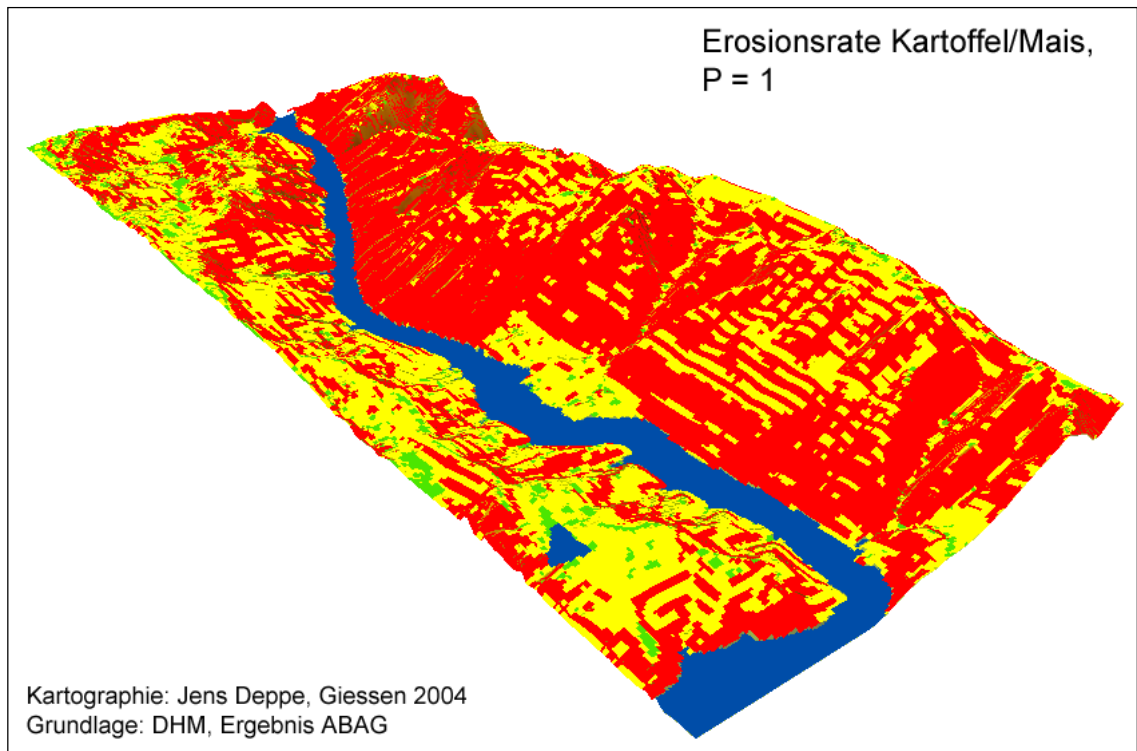


Abbildung 6.2: 3D-Ansicht der Erosionsraten für Kartoffel/Mais-Rotation mit $P = 1$

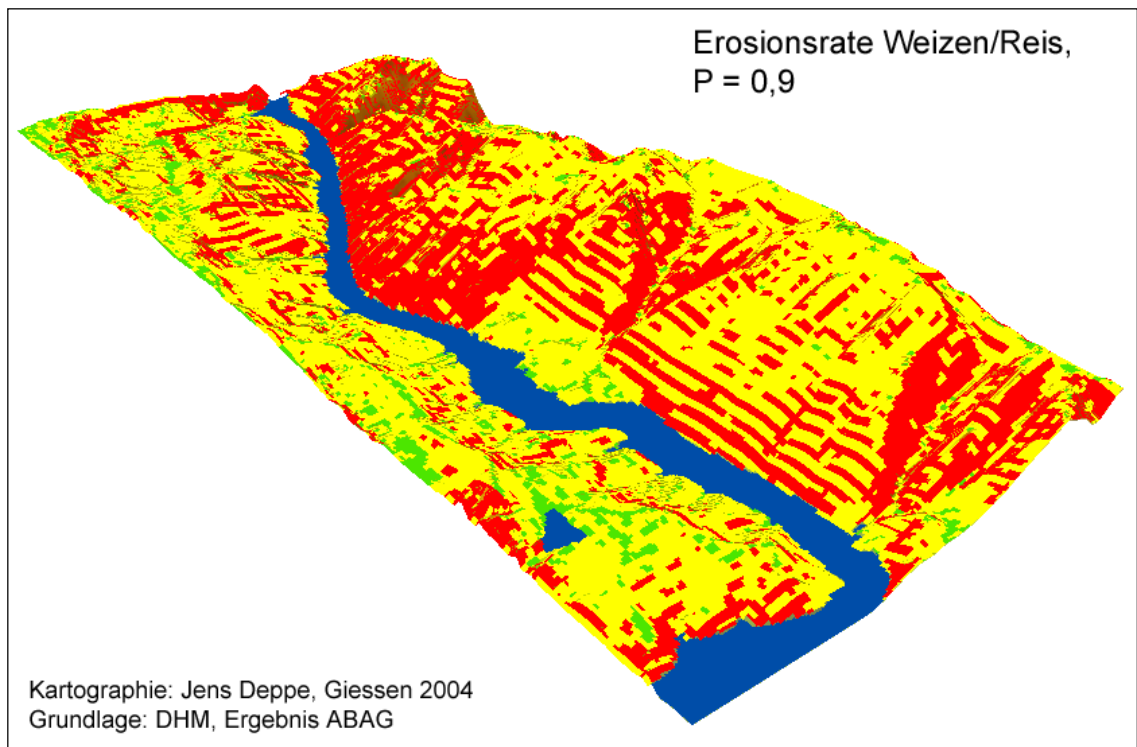


Abbildung 6.3: 3D-Ansicht der Erosionsraten für Weizen/Reis-Rotation mit $P = 0,9$

Auf Grund der thematischen Farbzueweisung der Abbildungen 6.2 und 6.3 kommt das Geländemodell, auf dem die beiden Abbildungen liegen, nur schwach zur Geltung und der dreidimensionale Anblick ist entsprechend gering. Abbildung 6.4 zeigt daher das digitale Höhenmodell noch einmal mit einer an die jeweilige Höhenlage gekoppelten Farbpalette. Der dreidimensionale Eindruck wird dadurch erheblich verstärkt.

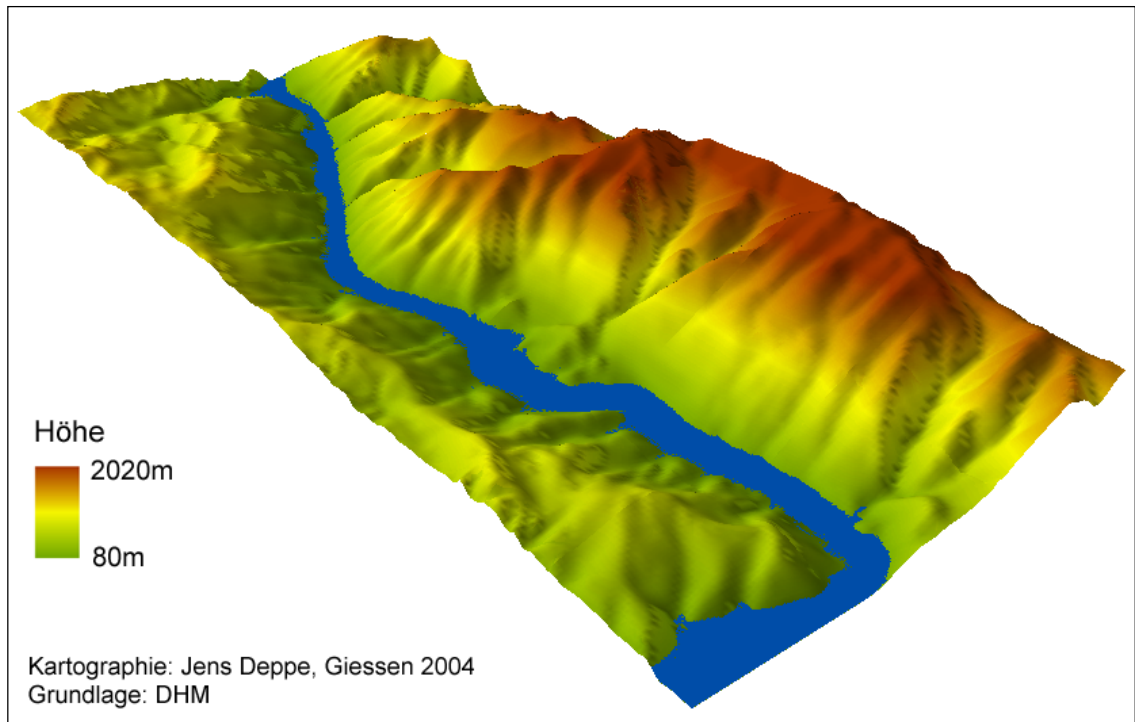


Abbildung 6.4: 3D-Ansicht des Arbeitsgebietes

Die in den Abbildungen 6.2 und 6.3 und in den Karten 6.2 und 6.3 erkennbaren „Streifen“ lassen eine Terrassierung der Hänge vermuten. Dies ist jedoch nicht so, es handelt sich dabei um auflösungsbedingte Artefakte des digitalen Geländemodells.

Die Flächen mit einer Erosionsrate bis fünf Tonnen befinden sich vornehmlich in Tal- und Kuppenlagen und auf den gering geneigten Hängen. Eine Rasteranalyse ergab das für diese Flächen eine durchschnittlich maximale Hangneigung von knapp 9°. ⁴¹ Hierbei befinden sich die meisten Flächen westlich des Xiangxi.

Im Gegensatz dazu sind die Flächen beider Rotationssysteme und Anbaumethoden die ein Erosionsrate von mehr als 30 Tonnen erfahren hauptsächlich östlich des Xiangxi zu finden. Allgemein befinden sich diese Flächen an den Steilhängen mit einer im Durchschnitt größeren Neigung als rund 26°.

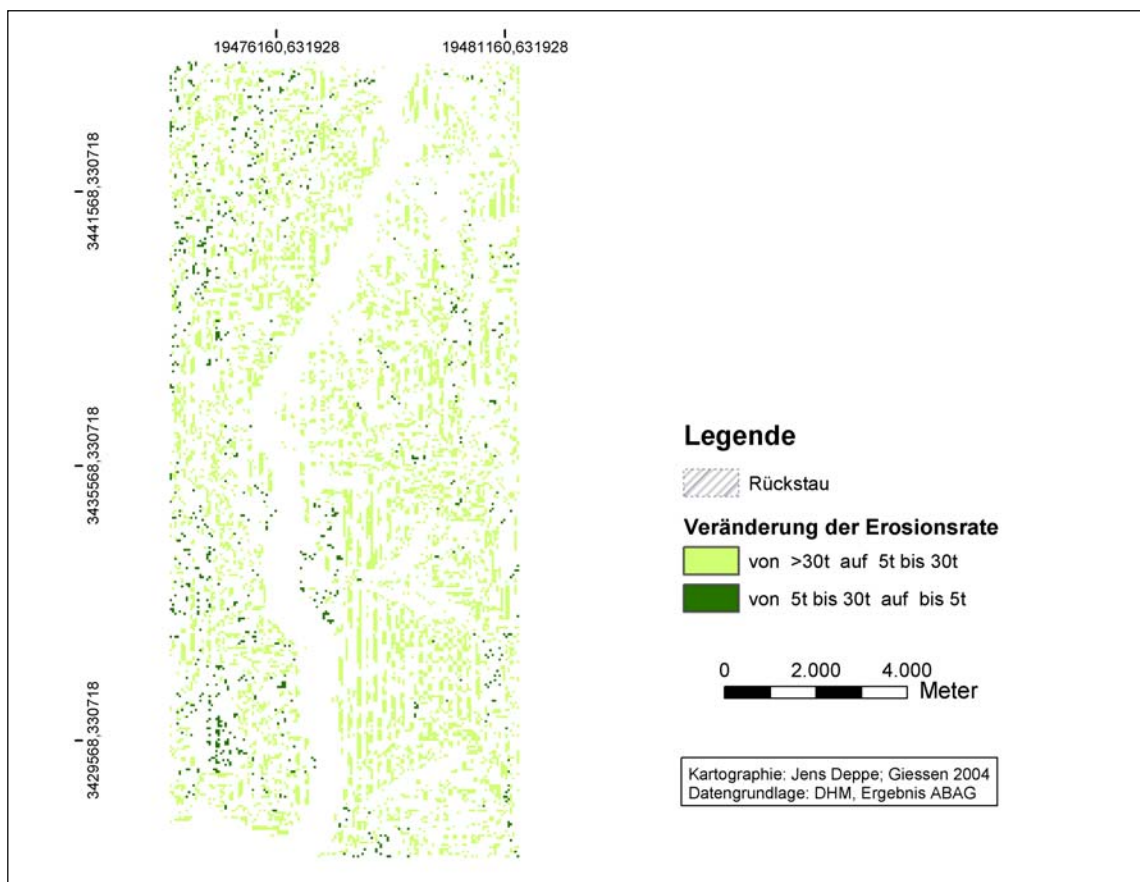
Die Flächen, die eine Erosionsrate von fünf bis 30 Tonnen aufweisen, sind auf Hängen

⁴¹ Durchschnittswert aller vier Berechnungen.

mit einer Neigung von rund 9° bis rund 27° zu finden.⁴² Sie sind auf beiden Seiten des Xiangxi ungefähr gleichmäßig verteilt.

Basierend auf der Annahme das im Arbeitsgebiet eine hangparallele Landnutzung betrieben wird wurden die beiden Rotationssystem mit dementsprechendem P-Wert von 0,9 weiter untersucht. Diese Untersuchung bestand darin zu ermitteln, ob und in wie weit sich die Erosionsrate reduziert wenn von der erosionshöheren Kartoffel/Mais-Rotation zur erosionsgeringeren Weizen/Reis-Rotation gewechselt wird. Mit einer Rasteranalyse wurden die Flächen, die bei einem Wechsel des Rotationssystems eine Veränderung der Erosionsraten erfahren, lokalisiert und berechnet.

Die Karte 6.4 zeigt das Ergebnis der Analyse. Die dunkelgrün dargestellten Flächen erfahren eine Veränderung der Erosionsrate von „über 30 t“ bei der Kartoffel/Mais-Rotation hin zu einer Rate von „5 t bis 30 t“ bei der Weizen/Reis-Rotation. Bei den hellgrün dargestellten Flächen verändert sich die Erosionsrate von der Klasse „5 t bis 30 t“ hin zu der Klasse „bis 5 t“. Die weißen Flächen erfahren keine Veränderung der Erosionsrate.



Karte 6.4: Verringerung der Erosionsrate durch Rotationswechsel

⁴² Ab der Neigung von 27° wurde der Einfluss der Neigung auf die Erosionsrate größer als das Rotationssystem oder die Anbaumethode.

Rund 129 km² werden von der Änderung des Rotationssystems nicht betroffen, die Erosionsklasse ändert sich nicht. Bei 2,8 km² führt die Änderung dazu, dass sich die Erosionsklasse von bisher „5 t bis 30 t“ auf eine Rate von „bis 5 t“ reduziert. Bei 30,9 km² der gesamten Fläche verringert sich die Erosionsklasse von „über 30 t“ auf „5 t bis 30 t“. Folglich wird knapp ein Fünftel der Gesamtfläche in eine günstigere Erosionsklasse kommen, wenn die Landnutzung von Kartoffel/Mais-Rotation auf Weizen/Reis-Rotation umgestellt würde. Die Unterschiede zwischen West- und Ostufer des Xiangxi fallen dabei eher gering aus. Die Tabelle 6.5 zeigt diese Unterschiede.

Tabelle 6.5: Veränderung der Erosionsraten im Vergleich West- und Ostufer

	Erosionsrate	
	bis 5 t	5t bis 30 t
Westufer	1,9 km ²	12,2 km ²
Ostufur	1,9 km ²	18,7 km ²

Quelle: eigene Berechnung

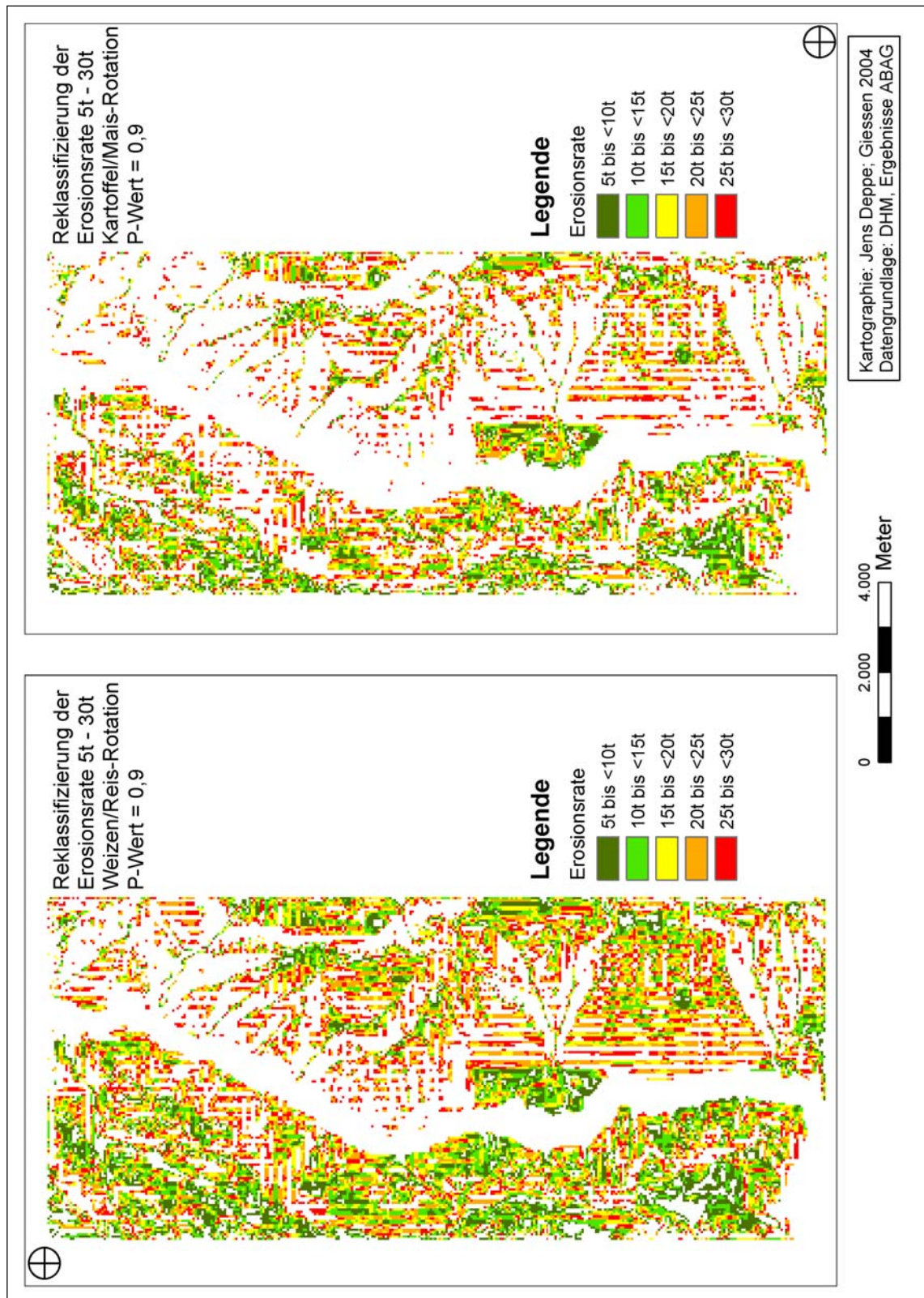
Zu beachten ist, dass es sich um Erosionsraten handelt, die in den drei Klassen zusammengefasst sind. Die Erosionsrate innerhalb einer Klasse wird sich natürlich ändern.

Des Weiteren wurde die Frage untersucht, welche Hangneigung die Flächen kennzeichnen, die einen Wechsel der Erosionsklasse erfahren. Das Ergebnis der Untersuchung zeigt, dass eine Änderung der Erosionsklasse von „über 30 t“ in „5t bis 30 t“ vor allem auf Flächen mit einer Hangneigung von 15° bis 34° stattfand. Ein Wechsel aus Klasse „5 t bis 30 t“ in „bis 5 t“ erfolgte vor allem auf Flächen mit einer Hangneigung von 6° bis 15°. Die Flächen, die eine kleinere Hangneigung als 6° bzw. eine größere Hangneigung als 34° aufweisen, erfahren keine Veränderung der Erosionsraten.

Es ist offensichtlich, dass die Weizen/Reis-Rotation die geringere Bodenerosion aufweist. Es stellt sich nun die Frage, welche Auswirkungen der Wechsel der Anbaurotation hat, wenn man die mittlere der drei Klassen im Detail betrachtet, d.h. in mehrere Unterklassen differenziert.

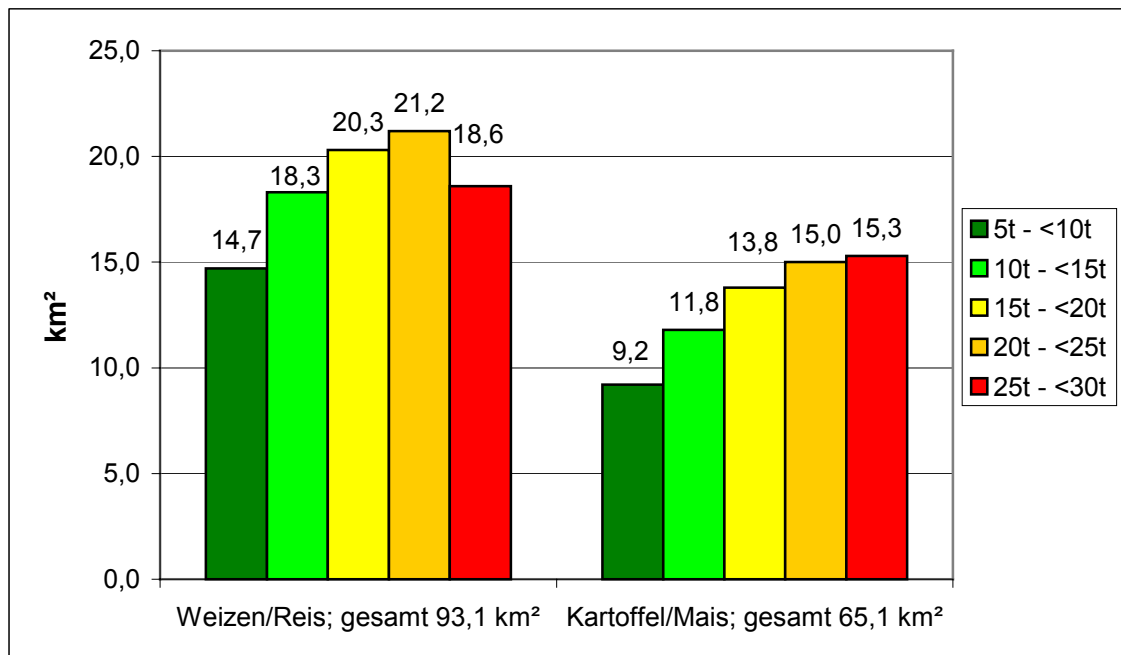
In Karte 6.5 ist diese Erosionsklasse in 5 t Schritten differenziert worden, und zwar für beide Rotationssysteme unter der Annahme eines P-Wertes von 0,9. Für eine bessere Übersicht wurden die Klassen mit weniger als 5t und ab 30t Erosion ausgeblendet. Auch hier ermöglicht die beiliegende Folie eine bessere Orientierung.

Karte 6.5:
Differenzierte
Unterteilung der
Erosionsrate 5t
bis 30t



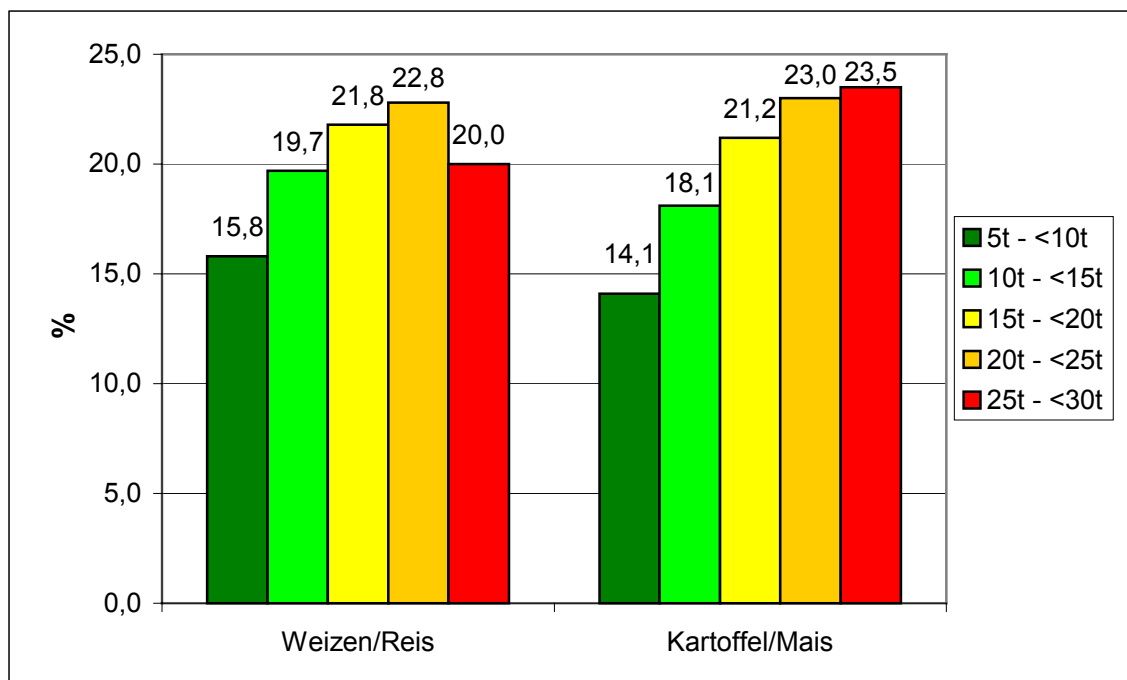
Die räumliche Verteilung der neugebildeten Klassen am West- und Ostufer ist bei beiden Rotationssystemen annähernd gleich. Aus den Abbildungen 6.5a und 6.5b kann entnommen werden, wie sich die jeweilige Gesamtfläche der ursprünglichen Erosionsklasse „5 t bis 30 t“ absolut (Abb. 6.5a) und prozentual (Abb. 6.5b) auf die neuen Erosionsklassen verteilt.

Abbildung 6.5a: Unterteilung der Erosionsklasse „5 t bis 30 t“ (absoluter Wert)



Quelle: eigene Berechnung

Abbildung 6.5b: Unterteilung der Erosionsklasse „5 t bis 30 t“ (Prozentwert)



Quelle: eigene Berechnung

Bei der Weizen/Reis-Rotation ist eine Zunahme der Flächen bis zu einer Erosionsrate von „20 t bis 25 t“ zu erkennen, danach kommt es zu einer Abnahme. Anders verhält es sich bei der Kartoffel/Mais-Rotation. Hier ist eine durchgehende kontinuierliche Zunahme der Flächen mit steigenden Erosionsraten zu erkennen. Dieser Trend setzt sich nach oben weiter fort, die Erosionsklasse mit einer Rate von „30 t und mehr“ ist bei der Kartoffel/Mais-Rotation am stärksten vertreten. Bei der Weizen/Reis-Rotation ist dies die Klasse mit einer Erosionsrate von „5 t bis 30 t“. Deutlich wird jedoch die bei der Kartoffel/Mais-Rotation insgesamt und auch in allen Teilklassen geringere Fläche in der Klasse „5 t bis 30 t“.

Die mittlere Erosionsrate der Klasse „5 t bis 30 t“ beträgt bei der Weizen/Reis-Rotation 19,2 t, bei der Kartoffel/Mais-Rotation hingegen nur 13,9 t.

Zusammenfassend kann Folgendes festgestellt werden:

1. Für den Großteil der Flächen des Arbeitsgebietes errechnet das Modell eine Bodenerosionsrate von mehr als 5 Tonnen pro Hektar und Jahr, Schutzmaßnahmen zur Verringerung von Bodenerosion sind somit erforderlich.
2. Der Wert des P-Faktors hat bei beiden Rotationssystemen nur geringen Einfluss auf die Erosionsrate. Einen wesentlich größeren Einfluss haben das verwendete Rotationssystem (C-Faktor), vor allem aber das Relief (LS-Faktor).
3. Das Westufer bzw. Flächen westlich des Xiangxi weisen im Allgemeinen geringere Erosionsraten auf als das Ostufer.
4. Die Weizen/Reis-Rotation liefert geringere Erosionsraten als die Kartoffel/Mais-Rotation und ist folglich daher der Kartoffel/Mais-Rotation vorzuziehen.
5. Eine Änderung des Rotationssystems von Kartoffel/Mais zu Weizen/Reis führt zu einer etwa 30%igen Reduzierung der Flächen mit einer Erosionsrate „über 30 t“.

7 Diskussion und Schlussfolgerung

Dieses Kapitel befasst sich mit der Diskussion der vorliegenden Arbeit und den aus der Arbeit abzuleitenden Schlussfolgerungen. In den Unterkapiteln werden die wesentlichen Schritte der Arbeit, von der Zielsetzung bis zu den Endergebnissen, kritisch betrachtet und bewertet.

7.1 Ziele

Die vorliegende Arbeit hat sowohl inhaltliche als auch methodische Ziele. Inhaltliche Ziele dieser Arbeit sind die Identifizierung und Analyse potenzieller Ausweichflächen im Xiangxi-Einzugsgebiet und die Evaluation der Bodenerosionspotenziale, die sich durch eine landwirtschaftliche Nutzung der Hänge des Xiangxi-Unterlaufes ergeben.

Praxisbezogener Hintergrund der Arbeit ist die Überflutung der Täler im Unterlauf des Xiangxi und der Verlust der flussnahen Ackerflächen als Folge des Rückstaus des Drei-Schluchten-Staudamms. Hierdurch ergab sich die Notwendigkeit, geeignete Ausweichflächen zu suchen. Theoretisch wäre natürlich auch möglich, die Bauern in anderen Berufsbereichen unterzubringen. In der Praxis tut sich aber gerade die Landbevölkerung schwer, alte Traditionen, wie die über Generationen gepflegte Tätigkeit in der Landwirtschaft, aufzugeben und neue Beschäftigungsmöglichkeiten zu adaptieren. Sehr viel wahrscheinlicher ist daher, dass die Bauern dem eingangs beschriebenen Beispiel des Xiaoxiang folgen und die (noch) bewaldeten Hänge am Xiangxi abholzen, um dort ihre Felder anlegen. Das zweite inhaltliche Ziel dieser Arbeit liegt daher darin, die Bodenerosionspotenziale abzuschätzen, die durch solche Maßnahmen der Bauern hervorgerufen würden.

Methodisches Ziel dieser Arbeit war, die Anwendbarkeit der ABAG für diese Zielsetzung zu untersuchen und zwar unter den vor Ort – also in China – gegebenen Rahmenbedingungen. Welche Probleme und Schwierigkeiten ergeben sich hier? Inwieweit sind die erzielten Endergebnisse verwendbar? Lässt sich die ABAG auf Chinas Verhältnisse übertragen?

Die ABAG wurde für den Mittleren Westen der USA durch langjährige empirische Untersuchungen entwickelt und optimiert. Zwar werden in der ABAG auch Möglichkeiten angegeben, wie man sie auch außerhalb der USA anwenden kann, jedoch werden für die dabei auftretenden Probleme mit abweichenden Datengrundlagen kaum verwertbare Lösungsvorschläge angeboten. Der Anwender der ABAG wird somit zumindest teilweise gezwungen, die benötigten Daten ggf. durch mehr oder weniger stark vereinfachte Verfahren ‚abzuschätzen‘.

Prinzipiell wäre es eigentlich erforderlich, die ABAG für die Anwendung in Gebieten außerhalb des Mittleren Westens stets neu zu kalibrieren. Die Gewichtung der ABAG-Faktoren beruht auf den physiogeographischen Verhältnissen des Mittleren Westen der USA. In Gebieten mit anderen Voraussetzungen ergibt sich somit zwangsläufig eine andere Gewichtung der einzelnen Faktoren zueinander. Dies wird bei einer Anwendung der ABAG außerhalb der USA jedoch nicht berücksichtigt.

7.2 Bewertung der Methodik

Auf den ersten Blick scheint die Anwendung der ABAG zunächst recht einfach. Ihre Anwendung erfordert als ‚Input‘ sechs klar definierte Faktoren die es mit scheinbar relativ leicht zu erhaltenden Werten zu füllen gilt. Zu Beginn schien die Datengrundlage auch im vorliegenden Fall ausreichend genau zu sein, da dem Projekt Daten in großer Menge zur Verfügung standen. Beim genaueren Hinsehen stellte sich allerdings heraus, dass fast alle Daten Probleme verursachten. Als ein Beispiel sei hier der K-Faktor genannt, bei dem das Hauptproblem die in China abweichende Einteilung der Korngrößenfraktion darstellte. Die Datenprobleme führten dazu, dass es immer wieder erforderlich wurde, entweder mit Näherungswerten zu arbeiten oder die Daten über Umwege indirekt zu berechnen. Beides führt unweigerlich zu Verfälschungen der Teilergebnisse, die sich letztendlich im Endergebnis akkumulieren.

Vergleicht man den Arbeitsaufwand für die vorbereitenden Arbeiten (Datenaufbereitung) und die anschließende Ermittlung der Faktoren mit den letztendlich resultierenden Endergebnissen, so war der Arbeitsaufwand insgesamt deutlich zu hoch. Wie erwähnt, konnte trotz des Zeitaufwands teilweise nur mit Näherungsergebnissen der Einzelfaktoren gerechnet werden. Rund 30% der gesamten Arbeitszeit umfasste z.B. alleine die Bereinigung des digitalen Höhenmodells, die Digitalisierung und Georeferenzierung der Bodenkarten und die Aufarbeitung der Bodendaten.

Erfreulicherweise sind gerade die Faktoren (LS- und R-Faktor) mit dem größten Einfluss auf die Endergebnisse der ABAG-Berechnung auch die Faktoren mit der höchsten Genauigkeit. Wie sich im Verlauf der Ergebnispräsentation zeigte, hat der LS-Faktor den mit Abstand größten Einfluss auf die Modellberechnung. Im Gegensatz dazu sind die Faktoren mit der geringsten Genauigkeit (K- und P-Faktor) glücklicherweise auch die mit dem geringsten Einfluss auf das Endergebnis. So konnte beispielsweise für den P-Faktor auf Grund mangelnder Detaildaten kein genauer Wert für das Arbeitsgebiet bestimmt werden. Der tatsächliche Wert wird wie zuvor diskutiert zwischen 0,9 und 1,0 liegen. Wie sich auch hier zeigte, ist dieser ‚Fehler‘ jedoch nicht weiter relevant, da die berechneten Erosionsraten sehr viel stärker von anderen

Faktoren bestimmt werden.

7.3 Bewertung der Ergebnisse

Die wesentlichen Endergebnisse bei der Identifizierung und Analyse geeigneter Ausweichflächen und der Abschätzung der Bodenerosionspotenziale sind:

1. Es stehen mehr als ausreichend Ausweichflächen zur Verfügung, die zumindest die in Kapitel 5.3 gestellten Grundvoraussetzungen erfüllen. Lediglich 12,3 km² gehen durch die Überflutung verloren. Aber rund 243 km² potenzielle Ausweichflächen stehen zur Verfügung, also knapp zwanzig mal so viel.
2. Potenzial für erhöhte Bodenerosion ist bei beiden Rotationssystemen gegeben. Bei beiden Rotationen ist die Erosionsklasse „bis 5 t“ (keine Erosionsschutzmaßnahmen erforderlich) die Klasse mit dem geringsten Flächenanteil. Bei beiden Rotationen muss daher überprüft werden, welche Flächen der Erosionsklasse „5 t bis 30 t“ erosionsschützende Maßnahmen erfordern. Vor allem die Weizen/Reis-Rotation muss näher analysiert werden, da bei dieser Rotation die Klasse „5 t bis 30 t“ überwiegt und innerhalb dieser Klasse die Mehrheit der Flächen eine Erosionsrate von immerhin „15 t bis 25 t“ aufweist. Auf die Kartoffel/Mais-Rotation sollte möglichst ganz verzichtet werden, da der überwiegende Teil der Flächen Erosionsraten von 30 t und mehr aufweist. Wird diese Rotation dennoch verwendet, sind Erosionsschutzmaßnahmen dringend erforderlich. Erosionsschutzmaßnahmen müssen auch für die Flächen der Weizen/Reis-Rotation ergriffen werden, die in der Klasse „30 t und mehr“ liegen. Allerdings sind hiervon im Vergleich zu der Kartoffel/Mais-Rotation weniger Flächen betroffen, der notwendige Aufwand folglich geringer.

Die ABAG-Berechnung liefert zwar (scheinbar) absolute Ergebnisse [t / ha * a], man sollte diese Resultate aber eher als „relative Werte“ verwenden. Der Grund hierfür ist zum einen die Ungenauigkeit verschiedener Faktorenwerte, zum anderen ist die Hangneigung im Arbeitsgebiet um ein Vielfaches höher, als es in der ABAG vorgesehen ist. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die errechneten Ergebnisse zwar relativ gesehen richtig sind, die errechnete absolute Höhe des Bodenabtrags aber kaum der Realität entspricht. Deshalb sollte nur von einer stärkeren bzw. schwächeren Erosionsgefährdung gesprochen werden. Für eine absolute Aussage müsste die ABAG erst durch experimentelle Messungen vor Ort kalibriert werden.

Die Ergebnisse der ABAG-Berechnung wurden in drei Klassen generalisiert. KUNTZE spricht von einer geringen Erosionsgefährdung, wenn die Erosionsrate kleiner als 5 t ist

(KUNTZE et al. 1994, S. 360). Beträgt die Erosionsrate 30 t und mehr, muss man von einer sehr hohen Gefährdung ausgehen. An diesen beiden „Grenzwerten“ („bis 5 t“ und „30 t und mehr“) orientiert sich die Klasseneinteilung dieser Arbeit. Die ABAG selbst gibt keine Vorgaben für eine Klasseneinteilung oder definiert wann eine Erosionsgefährdung als „hoch“, „mittel“ oder „gering“ anzusehen ist. Es wurden nur drei Klassen gebildet, weil ansonsten Genauigkeit vorgetäuscht worden wäre, die angesichts der teilweise recht ungenauen Ausgangsdaten so nicht besteht. In Anbetracht der methodischen Schwierigkeiten reicht es aus, die Flächen nach geringer, mittlerer und hoher Erosionsgefährdung einzuteilen.

Etwas anders verhält es sich bei der Identifizierung und Analyse der Ausweichflächen. Das erste Auswahlkriterium bildete eine geeignete Hangneigung. Diese konnte mit einer recht hohen Genauigkeit durch das digitale Höhenmodell modelliert werden. Zweites Kriterium waren geeignete Böden, und dies ist ein wesentlicher „Schwachpunkt“ in dem Modell. Die drei Bodenkarten weisen einen Maßstab von 1 : 160.000 bis 1 : 200.000 auf. Das bedeutet eine starke Generalisierung der Informationen in den Bodenkarten, was wiederum zu einer recht hohen Ungenauigkeit des Teilfaktors „Boden“ führt. Durch die Generalisierung könnten theoretisch an bestimmten Stellen erosionsanfällige Böden vorherrschen, obwohl die Bodenkarte an dieser Stelle „guten“ Boden ausweist. Die Karte mit den Ausweichflächen stellt daher eher eine Empfehlung dar bzw. eine Auswahlliste günstiger Flächen, deren Böden vor Ort aber unbedingt nochmals überprüft werden müssten. Des Weiteren muss natürlich auch die Verkehrslage und die aktuelle Nutzung dieser potenziellen Ausweichflächen noch geprüft werden.

7.4 Übertragbarkeit auf andere Gebiete im Stauseegebiet

Das Relief entlang des Drei-Schluchten-Staudamms wird durch steile Hügel- und Bergketten geprägt. Das bedeutet für eine Anwendung der ABAG bzw. eine Übertragung dieser Arbeit auf Gebiete entlang des Drei-Schluchten-Stausees, dass der LS-Faktor eine dominante Stellung bei der Berechnung der Bodenerosionsgefährdung einnimmt. Im Hinblick auf den für eine solche Untersuchung notwendigen Arbeitsaufwand bedeutet dies, dass ein wesentlicher Teil der erwünschten Informationen auch durch wesentlich vereinfachte Verfahren ermittelt werden kann.

Eine wesentliche Vereinfachung wird beispielsweise schon durch eine vorgeschaltete Auswertung des digitalen Höhenmodells erreicht. Durch die Analyse des DHM könnten bereits besonders gefährdete Flächen (große Hangneigung) und besonders geeignete Flächen (geringe Hangneigung) ausgefiltert werden. Durch Hinzunahme anderer Faktoren der ABAG werden sich die Ergebnisse nicht wesentlich ändern, selbst wenn

für diese Faktoren detaillierte Daten vorhanden sind (vg. Kap. 7.2). Eine Ausnahme bildet möglicherweise der R-Faktor. Im Gebiet des Drei-Schluchten-Staudamms treten hohe Niederschläge auf, die sich teils auf eine, teils auf zwei Regenzeiten verteilen. Es ist daher möglich, dass die Erosivität im Gebiet des Stausees räumlich recht stark variiert (z.B. durch Luv/Lee-Effekte), auch auf recht kurze Entfernung. Zeitlich und räumlich genauere Erosivitätsdaten könnten daher die räumlichen Variationen der Ergebnisse verbessern.

Andere Faktoren lassen sich durch Verwendung neuerer Techniken und Datenquellen sowohl leichter und schneller, als auch genauer ermitteln:

- LS-Faktor: anstatt eines manuell erstellten, d.h. mit Hilfe topographischer Karten digitalisierten und georeferenzierten, digitalen Höhenmodells kann inzwischen auf das von der NASA zur Verfügung gestellte Höhenmodell der Shuttle Radar Topography Mission SRTM (SRTM 2004)⁴³ zurückgegriffen werden. Die derzeitige Auflösung der DHM-Daten beträgt 90 m.
- C-Faktor und P-Faktor: Diese beiden Faktoren könnten mit Hilfe hochauflösender Satellitenbilder (z.B. SPOT_5, IKONOS, Quick Bird) erheblich genauer und schneller ermittelt werden, als dies im Rahmen der vorliegenden Arbeit möglich war. Mangels entsprechender Daten musste hier mit Annahmen gearbeitet werden.

Es ist allerdings zu beachten, dass der Einfluss der einzelnen Faktoren von der Größe und der Form eines (anderen) Arbeitsgebietes abhängig ist. Wenn ein neues Arbeitsgebiet ungefähr die gleiche Größe und Form des in dieser Arbeit untersuchten Gebietes hat, kann man davon ausgehen das der LS-Faktor wiederum dominant ist. Dann können die beschriebenen vereinfachten Verfahren zur Ermittlung der anderen Faktoren verwendet werden. Unterscheidet sich ein Arbeitsgebiet jedoch sehr stark in Größe und Form, wird sich auch der Einfluss der Faktoren ändern. Die vereinfachten Abschätzverfahren können dann nicht ohne weiteres verwendet werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob und inwieweit die in den USA entwickelte ABAG für die Abschätzung der Bodenerosionsgefährdung entlang des Drei-Schluchten-Stausees anwendbar ist und ob dies zu praktisch verwertbaren Ergebnissen führt.

⁴³ „Shuttle Radar Topography Mission“; ein unter der Leitung der NASA und der „National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)“ durchgeführtes, satellitengestütztes Vermessungsprojekt, das mit Hilfe eines speziell für diese Aufgaben entwickelten Radarsystems hochgenaue Höhendaten der Erdoberfläche ermittelte. Diese Daten decken den Globus von 60° nördlicher Breite bis 58° südlicher Breite ab. Die räumliche Auflösung beträgt 30 m. Diese Auflösung liegt jedoch (bisher) nur für die USA vor, für die übrigen Gebiete stehen jedoch zumindest schon Daten mit einer räumlichen Auflösung von 90 m zur Verfügung. Die höhere (30 m) Auflösung soll bald für alle Gebiete verfügbar sein.

Rückblickend lässt sich sagen, dass diese Methode zwar prinzipiell verwendet werden kann, aber auf Grund der Datenlage in China ganz erheblichen Aufwand für die Datenaufbereitung erforderte. Darüber hinaus sollten die Ergebnisse der Modellberechnung nicht als absolute Abtragswerte verwendet werden, sondern lediglich als eine Art „relatives Maß“ der Erosionsgefährdung.

Nachtrag:

Während der abschließenden Arbeiten zu dieser Diplomarbeit kamen dem Projekt hinsichtlich der Landnutzung neue Informationen zu. Demnach sind die Hänge im Unterlauf des Xiangxi terrassiert und mit Orangenbäumen bepflanzt worden. Um die Bodenerosion weiter zu minimieren wurden unter den Orangenbäumen Süßkartoffeln als Bodendecker angepflanzt.

8 Zusammenfassung

Das Ausgangsproblem der Arbeit war die Abholzung der Hänge am Unterlauf des Xiangxi und deren Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzflächen. Hierdurch entstehen hohe Bodenerosionspotenziale. Ziel dieser Arbeit war daher zum einen, diese Bodenerosionspotenziale mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) abzuschätzen. Zum anderen sollten geeignete Ausweichflächen für die überfluteten Ackerflächen identifiziert werden. Gleichzeitig wurde hierbei auch die generelle Einsatzmöglichkeit der ABAG auf Gebiete in China an einem ganz konkreten kleinräumigen Untersuchungsgebiet getestet.

Die Untersuchungen dieser Arbeit fanden auf zwei Arbeitsebenen statt. Erste Ebene war das gesamte, in das übergeordnete Projekt (s. Kap. 1.2) eingegliederte Projektgebiet. Hier wurden die potenziellen oben erwähnten Ausweichflächen identifiziert und analysiert. Die zweite Ebene, das eigentliche Arbeitsgebiet, umfasst nur den südlichen Teil dieses Projektgebietes. Für dieses Teilgebiet wurden die Bodenerosionspotenziale ermittelt. Das Projektgebiet umfasst eine Fläche von rund 3.172 km², davon nimmt das Arbeitsgebiet eine Fläche von rund 133 km² ein.

Hintergrund der Problemstellung der Arbeit ist der Bau des Drei-Schluchten-Staudamms. Der Drei-Schluchten-Staudamm ist eines der größten jemals in Angriff genommenen Staudammprojekte. Die Hauptziele des Drei-Schluchten-Staudamms sind der Hochwasserschutz des Mittel- und Unterlaufs des Yangtze, die Stromerzeugung durch Wasserkraftwerke und die Möglichkeit, das Landesinnere und den Westen Chinas schneller und günstiger wirtschaftlich zu entwickeln. Das Hauptproblem bildet die durch die Flutung der Flussufer oberhalb des Damms notwendig werdenden umfangreichen Umsiedlungsmaßnahmen. Mit Fertigstellung der Stauanlagen entsteht ein Stausee mit einer Länge von rund 633 km, einer Breite an der Oberfläche von rund 1,1 km und mit einer Tiefe zwischen 40 und 110 m. Das Gesamtvolumen der Wassermenge beträgt 39.300 Millionen m³.

Das Relief des Projektgebietes ist steil und zerklüftet. Der überwiegende Teil des Gebietes ist in der Regel das ganze Jahr frostfrei, nur die höchsten Lagen erfahren in den Wintermonaten gelegentlich Temperaturen von weniger als 0°. Die Niederschlagsmengen sind hoch, durchschnittlich fallen im Jahr rund 1.100 mm. Davon fallen rund 80 – 90% in den Sommermonaten, und der Großteil dieser Niederschläge konzentriert sich auf wenige Starkregentage. Das Projektgebiet wird von vier Bodentypen dominiert, von denen die drei am häufigsten auftretenden Bodentypen relativ fruchtbar sind. Auch im eigentlichen Arbeitsgebiet finden sich überwiegend günstige Böden. Mehr als 50% des Projektgebietes ist noch überwiegend mit Laub-

und Nadelwald bedeckt. Die ebenen Lagen, vor allem entlang des Xiangxi-Tals, werden als Ackerflächen genutzt. In den Hanglagen gibt es in kleinem Umfang Teesträucher und Orangenpflanzungen. Die Bevölkerung des Projektgebietes beträgt rund 250.000. Hiervon sind knapp 90.000 Menschen im Rahmen der Umsiedlungsmaßnahmen betroffen. Die Haupteinnahmequelle der Bevölkerung des Projektgebietes ist noch immer die Landwirtschaft.

Der erste grundlegende Arbeitsschritt für die Erosionsberechnung war, aus den Rohdaten flächendeckende Rasterdaten zu erzeugen. Für die Anwendung der ABAG müssen Daten für fünf (bzw. sechs) Erosionsparameter flächendeckend vorliegen. Diese Erosionsparameter sind: Hanglänge und Hangneigung (LS-Faktor), Boden-erodibilität (K-Faktor), Regenerosivität (R-Faktor), Bodenbedeckung und Bearbeitung (C-Faktor) und der Erosionsschutzmaßnahmen (P-Faktor). Auch die für die Identifizierung der Ausweichflächen benötigten Daten mussten zunächst flächendeckend ermittelt werden. Hierfür konnten die für die ABAG-Anwendung aufbereiteten Daten verwendet werden.

Hauptproblem bei der Datenaufarbeitung war eine nicht ausreichend detaillierte Datengrundlage. Um flächendeckende Daten zu bekommen, mussten für einige Parameter die benötigten Daten konstruiert werden. Für den LS-Faktor stand ein digitales Höhenmodell (DHM) zur Verfügung. Die Daten konnten direkt aus dem DHM entnommen werden und haben daher eine recht hohe Genauigkeit. Die Daten für den K-Faktor wurden aus digitalisierten Bodenkarten und deren Erläuterungen entnommen. Diese Bodenkarten hatten jedoch einen relativ kleinen Maßstab. Werden die Informationen aus diesen kleinmaßstäblichen Bodenkarten auf das verhältnismäßig kleine Arbeitsgebiet übertragen, kommt es durch Generalisierungseffekte zwangsläufig zu einem gewissen Informationsverlust der aus den Karten abgeleiteten Rasterdaten. Ein weiteres Problem des K-Faktors entstand durch die Korngrößenverteilung, die nicht internationalen Standards und der Vorgabe der ABAG entspricht. Der K-Faktor konnte daher nur näherungsweise bestimmt werden. Auch der R-Faktor konnte nur mit eingeschränkter Genauigkeit bestimmt werden. Für die Berechnung standen nur Daten von acht Niederschlagsmessstationen zur Verfügung. Diese lieferten nur Tageswerte, die ABAG setzt aber Messwerte in 30min-Intervallen voraus. Mit dem modifizierten FOURNIER-Index wurden die R-Werte für die verfügbaren acht Stationen ermittelt. Durch eine Regression zwischen der Höhenlage der Stationen und dem jeweiligen R-Wert wurden anschließend R-Werte für dazwischen liegende Punkte interpoliert. Für den C- und den P-Faktor standen praktisch keine Ausgangsdaten zur Verfügung. Hier konnten daher nur allgemeine Werte abgeschätzt werden, eine räumliche Differenzierung innerhalb des Untersuchungsgebietes war nicht möglich.

Zur Berechnung des potenziellen Bodenabtrages wurden die zuvor flächendeckend

ermittelten Einzelfaktoren der ABAG in die Erosionsgleichung eingesetzt. Das Ergebnis der Berechnungen sind flächendeckende Karten des potenziellen Bodenabtrags in Tonnen pro Hektar und Jahr, generalisiert in drei Erosionsklassen: $< 5 \text{ t/ha} \cdot \text{Jahr}$, $5 - 30 \text{ t/ha} \cdot \text{Jahr}$, $> 30 \text{ t/ha} \cdot \text{Jahr}$. Zur Identifizierung der potenziellen Ausweichflächen dienten drei Kriterien: geeignete Hangneigung, geeignete Böden, Mindestgröße der Flächen von $12,3 \text{ km}^2$. Für diese drei Kriterien wurden zunächst separate Karten berechnet, die jeweils die Flächen auswiesen, die das Filterkriterium erfüllen. Die drei Teilkarten wurden anschließend miteinander kombiniert, um die Flächen zu ermitteln, die alle drei Teilkriterien erfüllen.

Der Rückstau durch den Drei-Schluchten-Staudamm führt zu einem Verlust von bisher als Ackerflächen genutzten Uferbereichen des Xiangxi-Tals. Rund 14 km^2 bzw. ca. 8 % des Arbeitsgebietes werden hierdurch überflutet. Am stärksten betroffen sind hierbei gerade die Flächen mit sehr fruchtbaren Böden. Die GIS-gestützte Analyse zeigte jedoch, dass diesen $12,3 \text{ km}^2$ Verlustflächen immerhin 243 km^2 potenzielle Ausweichflächen gegenüber stehen. Diese potenziellen Kompensationsflächen müssen jedoch noch näher untersucht werden. Zum einen muss dabei überprüft werden, ob diese Flächen schon jetzt landwirtschaftlich genutzt werden und damit als Ausweichflächen ausfallen.⁴⁴ Zum anderen wäre für die dann noch übrigbleibenden Restflächen die aktuelle Verkehrsanbindung zu überprüfen bzw. ggf. die Möglichkeit, diese Gebiete an das bestehende Straßen- und Wegenetz anzubinden. Schließlich muss auch noch der Boden auf den in Frage kommenden Flächen noch einmal direkt vor Ort untersucht werden. Durch den kleinen Maßstab der verwendeten Bodenkarten (1:160.000 bis 1:200.000) ist, wie oben erwähnt, die in den Berechnungen verwendete Bodeninformation stark generalisiert und entsprechend fehleranfällig.

Werden die Hänge am Unterlauf des Xiangxi abgeholzt und in Ackerflächen umgewandelt, muss in den meisten Bereichen mit mittleren ($5 - 30 \text{ t/ha} \cdot \text{Jahr}$) bis hohen ($> 30 \text{ t/ha} \cdot \text{Jahr}$) Bodenerosionsraten gerechnet werden. Um diese zu minimieren, ist eine Weizen/Reis-Rotation der Kartoffel/Mais-Rotation vorzuziehen. Die Berechnung mit Hilfe der ABAG ergab, dass bei einer Weizen/Reis-Rotation der überwiegende Teil des Arbeitsgebietes Erosionsraten von $5-30 \text{ t/ha} \cdot \text{Jahr}$ aufweist. Bei der Kartoffel/Mais-Rotation fällt der überwiegende Teil des Arbeitsgebietes in die Klasse $>30 \text{ t/ha} \cdot \text{Jahr}$. Dabei ist das Westufer des Xiangxi weniger stark gefährdet als das Ostufer.

Ausschlaggebende Faktoren für die berechneten Erosionsmengen sind in erster Linie

⁴⁴ Leider standen weder Luftbilder noch hochauflösende Satellitenbilder zur Verfügung. Die aktuelle Landnutzung konnte daher nicht überprüft werden.

das Relief (LS-Faktor) und die Niederschläge (R-Faktor), wobei dem Relief auf Grund der z.T. sehr hohen Hangneigung die größere Bedeutung zukommt.

Die ABAG wurde zur Berechnung absoluter Abtragswerte (Erosionsmenge/Flächeneinheit * Zeiteinheit) entwickelt und für die Verhältnisse im Mittleren Westen der USA kalibriert und optimiert. Überträgt man – wie im vorliegenden Fall – die Anwendung der ABAG auf ein völlig anderes Gebiet und völlig andere Rahmenbedingungen (z.B. sehr viel höhere Hangneigung), müsste man die ABAG eigentlich zunächst durch langjährige Abtragsmessungen vor Ort auf die lokalen Bedingungen anpassen und kalibrieren. Da dies nicht möglich war, sollten die vorliegenden Berechnungsergebnisse sehr vorsichtig interpretiert werden. Die berechneten Werte haben eher die Funktion eines Indikators für die relative Erosionsgefährdung, als exaktes quantitatives Maß für den tatsächlichen Bodenabtrag sind sie nur sehr bedingt geeignet.

9 Summary

Potential Soil Erosion and Land Use Changes as a possible consequence of the Three Gorges Project, Xiangxi Catchment, P.R. China

Deforestation of the slopes along the lower reaches of the Xiangxi river catchment and conversion of these slopes into agricultural land may cause a high soil erosion rate. The main objective of this thesis was to assess the soil erosion potential in this area, by using the American Universal Soil Loss Equation (USLE). Furthermore, as a second task, suitable areas which could potentially be used to substitute the flooded agricultural crop land were to be identified. At the same time, by pursuing these tasks, the general feasibility of the application of the USLE in China was tested in a small study area. The analysis included two different working levels. The first level was formed by the entire "project area", covering a total of 3,172 sqkm. Within this area, the potential substitute areas were to be identified. The second level included just the southern part of this project area, covering a total of 133 sqkm only. For this area, called the "study area", the soil erosion potential was modelled and assessed.

The background of this study is the construction of the Three Gorges Dam and its consequences for the land further upstream. The Three Gorges Dam is one of the biggest dam projects in history. The principal objectives of this project are flood protection for the middle and lower reaches of the Yangtze catchment, generation of hydroelectric power and boosting a faster and cost-saving development of the central and western parts of China. One of the crucial problems during the first phase of the construction work was the required resettlement of a huge number of people whose lands upstream of the dam became flooded. After finalization of all construction activities a reservoir with a length of 633 km, an average width of around 1.1 km and a depth of about 40 m to 110 m will have developed. The overall volume of the resulting water body will be around 39.3 km³.

The relief of the project area is steep and cleft. The climate is temperate, most parts of the area the temperature does not drop below 0°C. Only the highest altitudes of the mountainous parts may occasionally experience temperatures below zero. The project area receives a fairly high amount of annual rainfall, the average precipitation being around 1,100 mm.

80% to 90% of these 1,100 mm is summer rainfall, most of which falls within a few rainy days only. The soil of the project area is dominated by four soil types. The three most common soils are fairly fertile. The same holds true for the actual study area. Here, the dominant soils are rather fertile. Most of the flatter parts of the project area are

used as crop land. Most of these relatively flat areas correspond to the footslopes along the Xiangxi valley. More than 50% of the project area is still woodland with both, conifers and deciduous trees, mainly to be found on the steeper slopes. On some parts of these slopes, tea plantations and orange orchards have replaced the woodland. The population of the project area totals about 250,000, of which about 90,000 had to be resettled. The main source of income is farming.

The first step of the calculation procedure was to transform the various raw data into consistent coverages of raster data for the entire area. The USLE requires as model input area-wide raster data coverages for each of the five calculation parameters. These five USLE parameters are: the Topographic Factor (slope length and inclination, LS), the Soil Erodibility Factor (K), the Rainfall and Runoff Factor (R), the Cover and Management Factor (C) and the Support Practice Factor (P). The same data were also required for the identification of the potential substitute areas. The main difficulty in preparing and processing the data was inadequate detail of the available raw data. In some cases, various approximation methods were required to compute the necessary area-wide raster data coverages. Hence as a consequence, the detail, the accuracy and the reliability of the resulting input data varied considerably.

The LS data were obtained from a fairly detailed and accurate digital elevation model (DEM). The K data (erodibility), on the other hand, had to be extracted from fairly small-scaled soil maps and are thus much less detailed and less reliable. Another problem in compiling of the K data were the particle size classes used in China, which unfortunately differs from international standards (and from the defaults given by the USLE). Hence, the K factor values could be calculated approximately only. Likewise, also the R factor had to be approximated indirectly. The available rainfall data consisted of daily values of eight rainfall gauges in and around the project area. However, the USLE actually requires rainfall data for 30-minute intervals. To approximate the desired R factor values, the so called Modified Fournier Index was applied. Using this index, R factor values for each of the eight stations were computed. To interpolate these point data into a full area coverage (point-to-area-interpolation), a regression equation was calculated with the altitude of these stations as independent variable (x) and the R factor as dependent parameter (y). Using the regression equation and the data set of the digital elevation model as input, the required R factor coverage could finally be interpolated. Also the compilation of the C and P factors had to be based on simplified compilation methods, resulting in input data sets of limited accuracy. In case of the C factor, two fixed assumptions had been used for the entire area instead of a data set derived from actual landuse data which reflects the spatial variation within the area. This procedure was necessary due to the lack of landuse maps or suitable remote sensing data.

After the compilation of the area-covering raster data sets, the five data matrices were fed into the USLE. The final result of these calculations are area-wide maps of the potential soil loss in tons per hectare and year. The calculated potential soil loss was then generalised into three classes: $< 5 \text{ t/ha}\cdot\text{a}$, $5\text{--}30 \text{ t/ha}\cdot\text{a}$ and $> 30 \text{ t/ha}\cdot\text{a}$. To identify the potential substitute areas, three filter criteria were selected: acceptable slope inclination, suitable soil type and a minimum size of at least 12.3 sqkm. For this task, at first separate maps for each of these three criteria were computed, each map displaying the areas fulfilling the respective selection criterion. Finally, the three maps were combined to identify those areas which meet all three criteria.

Some areas in the Xiangxi river valley, that were upto recently used as agricultural land, are now lost, due to the tailback of the Three Gorges Dam. Approximately 12 sqkm or 8% of the study area became flooded. Unfortunately, mainly areas with fertile soils were affected by the flooding. However, the GIS analysis showed that a total of 243 sqkm is potentially available as a substitute for the flooded lands.

It should be stressed out, however, that these potential substitute areas still have to be examined further. First of all, it has to be checked whether these areas are already used as crop land or not. Unfortunately, as mentioned above, no aerial photos or high-resolution satellite images were available for this purpose. Thus, the present land use could not be checked. Secondly, the accessibility of each of the potential substitute areas has to be checked. If these areas are not yet accessible, the feasibility of linking them to the existing road net should be assessed. Finally, a field survey should be carried out to check the soil quality of the remaining candidates for the area replacement. Because of the small scale of the soil maps used for the calculations, the soil information is highly generalised and therefore fairly error-prone.

In case of a total deforestation along the lower reaches of the Xiangxi river and their transformation in agricultural land, a medium ($5\text{--}30 \text{ t/ha}\cdot\text{a}$) to a high ($> 30 \text{ t/ha}\cdot\text{a}$) soil erosion rate must be expected. To minimize the erosion, a wheat/rice rotation is to be preferred over a potatoe/corn rotation. The USLE calculations showed that most of the study area is affected by an erosion rate of about $5\text{--}30 \text{ t/ha}\cdot\text{a}$, if this wheat/rice rotation applied. With the potatoe/corn rotation, on the other hand, an erosion rate of $> 30 \text{ t/ha}\cdot\text{a}$ is to be expected for most of the study area. In both cases, due to less steep slopes the west bank of the Xiangxi river shows lower erosion rates than the east bank.

Comparing the relative impact of the five USLE parameters on the calculation results, it can be concluded that the LS factor is the by far dominating parameter. Due to the mainly steep to very steep relief, the variations of the LS factor basically determines the calculation results. As compared to the LS factor, the influence of the four other factors

is relatively minor, partly due to the fairly small spatial variation and partly due to the data generalization which had to be accepted to generate the required area-wide data coverages. The former cause mainly applies to the R and K factor (erosivity and soil erodibility), the latter primarily to the C and P factors (crop and soil conservation).

The USLE was originally developed to assess absolute soil loss rates (soil loss/area unit and year) and calibrated and optimized for the physiographic characteristics of the Middle West of the USA. If transferred – as happened in this case – to a totally different area with entirely different physiographic characteristics (e.g. much steeper slopes), the equation in principle must be calibrated and adjusted to these local conditions, based on long-term infield soil loss measurement. Since in this case this was not feasible, the results of the calculations have to be used carefully. The calculation results may serve as a good ‘relative’ indicator for soil loss hazard. However, their value as a soil loss quantification in absolute terms is rather limited.

10 Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-ARBEITSGRUPPE BODEN (1994):** Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. verbesserte und erweiterte Auflage; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter der Bundesrepublik (Hrsg.); Hannover
zit.: AG BODEN 1994
- ARAKAWA, H. (1969):** Climates of Northern and Eastern Asia, World Survey of Climatology Volume 8; Meteorological Research Institute Tokyo (Hrsg.); Amsterdam/London/New York
zit.: ARAKAWA 1969
- AUERSWALD, K., SCHMIDT, F. (1986):** Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern – Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen; GLA Fachbericht 1. Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.); München
zit.: AUERSWALD und SCHMIDT 1986
- BAHRENBERG, G., GIESE, E., NIPPER, J. (1990):** Statistische Methoden in der Geographie; Stuttgart
zit.: BAHRENBERG 1990
- BLUME, H.-P. (1992):** Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und –belastung; vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen, 2. Auflage; Landsberg/Lech
zit.: BLUME 1992
- BMZ (1995):** Environmental Handbook, Documentation on monitoring and evaluating environmental impacts; German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (Hrsg.); o.O.
zit.: BMZ 1995
- CHANGJIANG WATER RESOURCES COMMISSION (2000):** Introduction to Technical Studies on Three Gorges Project; ChangJiang Water Resources Commission (Hrsg.); Wuhan.
zit.: CWRC 2000
- CHRISTIANSEN, T. (1982):** Bodenerosion und ihre Einflussfaktoren im Gebiet des Indo-German Dhauladhar Projektes (Vorderer Himalaya); Diplomarbeit; Institut für Geographie der Justus-Liebig-Universität Giessen; Giessen
zit.: CHRISTIANSEN 1982
- DTK (2002):** 3 Schluchten Projekt am Yangtze/China. Bericht zur ATV-DVWK Reise nach China (2001); www.talsperrenkomitee.de/info/index.cgi/task/print/page/tgp_exkursion, Stand 23.04.2003 (pdf-Dokument)
zit.: DTK 2002
- DVWK (1990):** Grundlagen der Verdunstungsermittlung und Erosivität von Niederschlägen; Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Hrsg.); Hamburg und Berlin
zit.: DVWK 1990
- GEMMER, M., KING, L., JIANG, T. (2004):** New Demands for Flood Protection at the Yangtze River. Proceedings at Nanjing workshop (Nov. 2003); o. O.
zit.: GEMMER et al. 2004
- GEOMAPX:** Digital Geological Map of East and Southeast Asia, 1 : 2.000.000, Digital Geoscience Map G-2, Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCCOP) and Geological Survey of Japan (eds.), Geological Survey of Japan, 1997 (auf CD-ROM)
zit.: GEOMAPX 1997
- GONG, Z., LUO, G., ZHANG, G., SPAARGAREN, O. C., KAUFMAN, J. H. (1994):** Reference soil profiles of the People's Republic of China. Field and analytical data, Country report 2; Institute of Soil Science – Academia Sinica (ISSAS) & International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) (Hrsg.); Nanjing/Wageningen
zit.: GONG et al. 1994

- HARTMANN, H. (2003):** Das Dreischluchtenprojekt am Yangtze, seine Bedeutung für die Hochwasserprävention, die Erzeugung von Hydroenergie und die wirtschaftliche Erschließung des Yangtze-Einzugsgebietes; Diplomarbeit; Institut für Geographie der Justus-Liebig-Universität Giessen; Giessen
zit.: HARTMANN 2003
- HE, L., KING, L., JIANG, T. (2003) :** On the landuse in Three Gorges Reservoir area; In: Journal of Geographical Sciences; S. 416 – 422; o.O.
zit.: HE et al. 2003
- HUDSON, N. (1971):** Soil Conservation; London
zit.: HUDSON 1971
- ILACO, B. V. (1981):** Agricultural Compendium For Rural Development In The Tropics And Subtropics, Amsterdam/Oxford/New York
zit.: ILACO 1981
- ISSIS, ISRIC, FAO (1998):** World Reference Base For Soil Resources, World Soil Resources Report No. 84; International Society of Soil Science (ISSIS), International Research and Information Centre (ISRIC), Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) (Hrsg.); Rome
zit.: ISSIS 1998
- KEIL, J.-P. (2003):** Das Dreischluchtenprojekt und seine Auswirkungen auf die sozioökonomische Entwicklung im Xiangxi-Einzugsgebiet in der Provinz Hubei, VR China; Diplomarbeit; Institut für Geographie der Justus-Liebig-Universität Giessen; Giessen
zit.: KEIL 2003
- KING, L., CAI, Q., JIANG, T. (2001):** Sustainable Land Use, Flood Risks and Watershed Ecosystem Managment, 2nd Workshop on Watershed Ecology Sino-German Project Meeting 23 – 30 April 2001, Wuhan, China; Statusreport für Projektteilnehmer; Wuhan
zit.: KING et. al 2001
- KING, L., HARTMANN, H., GEMMER, M. (2004):** Der Drei-Schluchten-Staudamm. Ein Großbauprojekt und seine Bedeutung für den Hochwasserschutz; In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Band 148, Heft Nr. 5; S. 26-33
zit.: KING et al. 2004
- KIRBY, M., MORGEN, R. (1980):** Soil Erosion; Chichester
zit.: KIRBY und MORGEN 1980
- KUNTZE, H., ROESCHMANN, G., SCHWERDTFEGER, G. (1994):** Bodenkunde 5. Auflage; Stuttgart
zit.: KUNTZE et al. 1994
- LANDON, J. R. (1984):** Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics; London
zit.: LANDON 1984
- LAUER, W. (1995):** Klimatologie; Braunschweig
zit.: LAUER 1995
- LIEBIG, W., MUMMENTHEY, R.-D. (2002):** ArcGIS – ArcView8. Das Buch für den Anwender; Norden/Halmstad
zit.: ARC GIS 2002
- LOClim (2002):** Local Climate Estimator. Environment and Natural Resources, Working Paper No.9 June 2002. FAO (CD-Rom)
zit.: LOClim 2002
- LU, X. X., HIGGIT, D. L. (2000):** Estimating erosions rates on sloping agricultural land in the Yangtze Three Gorges, China, from Caesium-137 measurements; In: Catena 39; Elsevier Science B. V. (Hrsg.); S. 33-51; Ontario/Canada
zit.: LU und HIGGIT 2000
- METZLER, M., KING, L., GEMMER, M. (2002):** Das Dreischluchtenprojekt am Yangtze – Giessener Forschergruppe untersucht Auswirkungen des weltgrößten Staudammprojektes; In: Spiegel der Forschung 19/1; S. 38-45
zit.: METZLER et al. 2002

- MENG, Q. H., FU, B. J., YANG, L. Z. (2001):** Effects of land use on soil erosion and nutrient loss in the Three Gorges Reservoir Area; In: Soil Use and Management (2001) 17, S. 288 – 291, British Society of Soil Science (Hrsg.); Aberdeen
zit.: MENG et al. 2001
- MING, Y. (2003):** Human Rights dammed off at three Gorges. An investigation of resettlement and human rights problems in the three gorges dam projekt; <http://www.irn.org/programs/threeg/3gcolor.pdf>, Stand 27.11.2003 (pdf-Dokument)
zit.: MING 2003
- MORGAN, R. P. C. (1979):** Topics In Applied Geography, Soil Erosion; London
zit.: MORGAN 1979
- QI, L. (2000):** Development-Oriented Resettlement for the Three Gorges Project; In: China Yangtze Three Gorges Project Development Corporation (CTGPC) 2000: Proceedings of China Yangtze Three Gorges Project; o. O.; S. 186 - 194.
zit.: QI 2000
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (1992):** Lehrbuch der Bodenkunde; Stuttgart
zit.: SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 1992
- SCHOLTEN, T., FELIX-HENNINGSSEN, P., SZIBALSKI, M. (2002):** Multifunktionalität von Landschaften – auf den Standort kommt es an; In: Berichte über Landwirtschaft, 80; S. 509-539
zit.: SCHOLTEN et al. 2002
- SCHOLTEN, T., Felix-Henningsen, P., LI, Z., SHI, X., DEPPE, J. (o. J.):** Status report on preparatory work of the soil science working group in the run-up to the application of the project; interner Projektbericht; Giessen
zit.: SCHOLTEN et al. o. J.
- SCHWAB, G. O., FREVERT, R. K., EDMINSTER, T. W., BARNES, K. K. (1981):** Soil and Water Conservation Engineering, Third Edition; New York
zit.: SCHWAB et al. 1981
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W., KAINZ, M. (1987):** Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen; Stuttgart
zit.: SCHWERTMANN 1987
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W., KAINZ, M. (1990):** Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, 2. Auflage; Stuttgart
zit.: SCHWERTMANN 1990
- STATISTICAL YEARBOOK ZIGUI (1999):** Statistics Bureau of Zigui County 1999: 50 years of statistical data in Zigui County 1949-1999 (chinesisch); Zigui
zit.: STATISTICAL YEARBOOK ZIGUI 1999
- STATISTICAL YEARBOOK XINGSHAN (1999):** Statistics Bureau of Xingshan County 1999: 50 years of statistical data in Xingshan County 1949-1999 (chinesisch); Xingshan
zit.: STATISTICAL YEARBOOK XINGSHAN 1999
- WANG, R., GEMMER, M., KING, L. (2002):** Hochwasserschutz und Landnutzung am Yangtze; In: Geographische Rundschau 53 (10); S. 28-24
zit.: WANG et al. 2001
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1978):** Predicting Rainfall Erosion Loss – A Guide to Conservation Planning; U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537 (Hrsg.); Washington
zit.: AH 537
- WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. (1991):** Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RULSE). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agricultural Handbook No. 703 (Hrsg.); Washington
zit.: AH 703
- WU, C., WANG, N., LIN, C., ZHAO, S. (1984):** Geography in China; Beijing
zit.: WU et al. 1984

THREE GORGES ATLAS (2000): Atlas of China Yangtze Three Gorges Reservoir Area, China; The Changjiang Water Resources Commission, Reservoir Area Atlas Editorial Edition, Geographic Maps Publishing House, Beijing, 2000
zit.: TGA 2000

ZECH, W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Systematik, Genese, Eigenschaften, Ökologie und Verbreitung von Böden; Stuttgart
zit.: ZECH 1997

ZHAO, S. (1986): : Physical Geography of China. Beijing
zit.: ZHAO 1986

11 Internetverzeichnis

- DEUTSCHES STATISTISCHES BUNDESAMT (2003):** Bevölkerungsstatistiken;
<http://www.destatis.de/jahrbuch/jahrtab1.htm>, Stand 16.10.2003
zit.: DESTATIS 2003
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (1988a):** World Reference Base for Soil Resources, Classification Key;
<http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/newkey.smt>, Stand 21.11.2003
zit.: FAO 1988a
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (1988b):** World Reference Base for Soil Resources, Chapter 3: Diagnostic horizons, properties and materials;
<http://www.fao.org/docrep/W8594E/w8594e06.htm>, Stand 19.03.2004
zit.: FAO 1988b
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2003):** WRB Map of World Soil Resources; <http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/soilres.stm>, Stand 19.03.2004
zit.: FAO 2003
- GTOPO30 (2001):** Land Processes Distributed Active Archive Center. Global 30 Arc-Second Elevation Data Set; <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html>, Stand 08.11. 2002
zit.: GTOPO30 2001
- MUENSCHEN (2001):** Offizielles Stadtportal für München: Publikationen des Referates für Stadtplanung und Bauordnung, Bevölkerungsprognosen 2002;
http://www.muenchen.de/Rathaus/referate/plan/beratuservice/publikationen/41218/bevoelkerungsprognose_2002.html, Stand 13.12.2003
zit.: MUENCHEN 2001
- PEOPLEDAILY (2002):** Three Gorges Resettlement costs 28 Billion Yuan;
http://english.peopledaily.com.cn/200202/05/eng20020205_89946.shtml, Stand 12.11. 2003
zit.: PEOPLEDAILY 2002
- SRTM (2004):** X-SAR/SRTM Shuttle Radar Topography Mission 3D View on Earth;
<http://www.dlr.de/srtm>, Stand 25.10.2004
zit.: SRTM 2004
- THREEGORGESPROBE (2002):** Three Gorges rural resettlement and its impact on the host population and the environment; <http://www.threegorgesprobe.org/tgp/index.cfm>, Stand 25.11. 2003
zit.: THREEGORGESPROBE 2002
- TRÜSCHE (2003):** Der Bodensee in Zahlen; <http://www.truesche.de/see/see.htm>, Stand 14.09.2003
zit.: TRÜSCHE 2003
- WU, M. (2001):** Resettlement Problems of the Three Gorges Dam: A Field Report by Wu Ming;
<http://www.imn.org/programs/threeg/resettle.html>, Stand 15.05.2002
zit.: WU 2001

Anhang

Aufgrund des Umfangs der Anhänge befinden sie sich auf der beigelegten CD-Rom.

Anhang A: Eigenschaften der wichtigsten Böden im Projekt- und Arbeitsgebiet

Anhang B: Ursprüngliche (nicht-interpolierte) monatliche Niederschlagsmengen für den Zeitraum von 1970 bis 1986 für die acht Messstationen im Projektgebiet

Anhang C: K-Werte für vollständig vorhandene Profile der wichtigsten Böden des Projekt- und Arbeitsgebietes auf Ebene der Bodenfamilien